

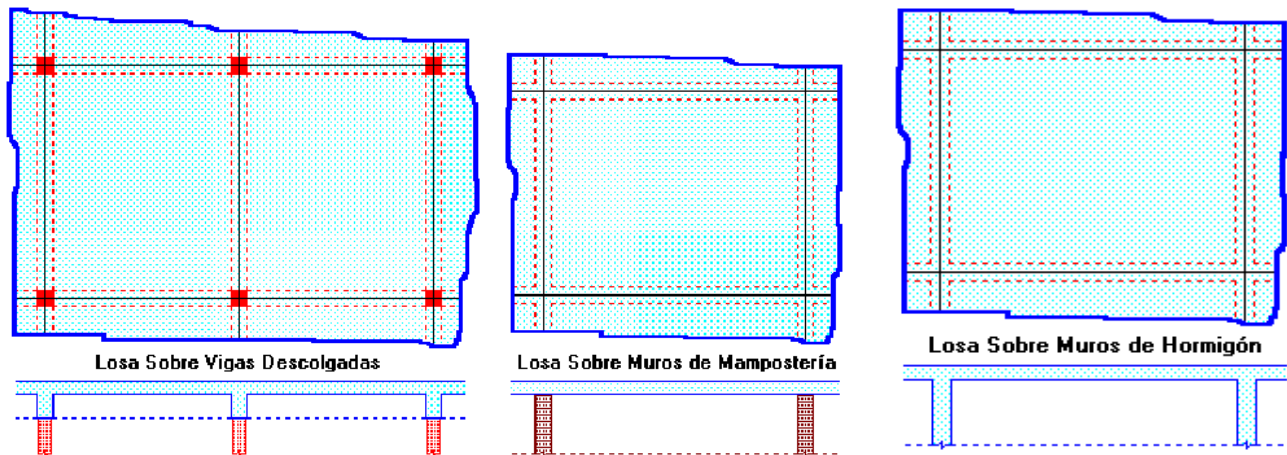
## DISEÑO DE LOSAS DE CONCRETO ARMADO

### 1.1 INTRODUCCION

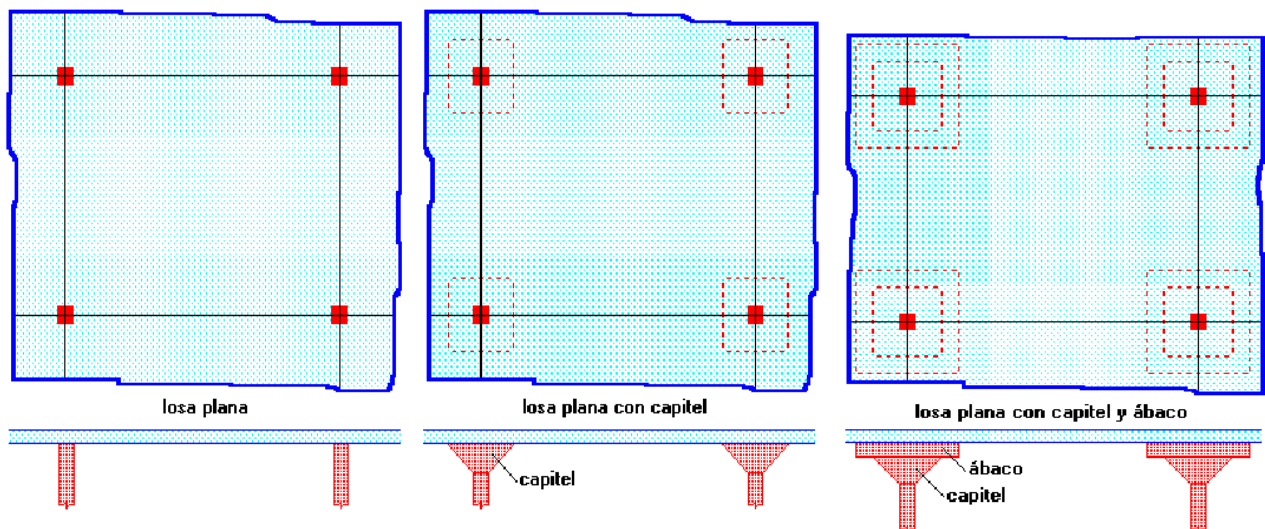
Las losas son elementos estructurales bidimensionales, en los que la tercera dimensión es pequeña comparada con las otras dos dimensiones básicas. Las cargas que actúan sobre las losas son esencialmente perpendiculares al plano principal de las mismas, por lo que su comportamiento está dominado por la flexión.

### 1.2 TIPOS DE LOSAS

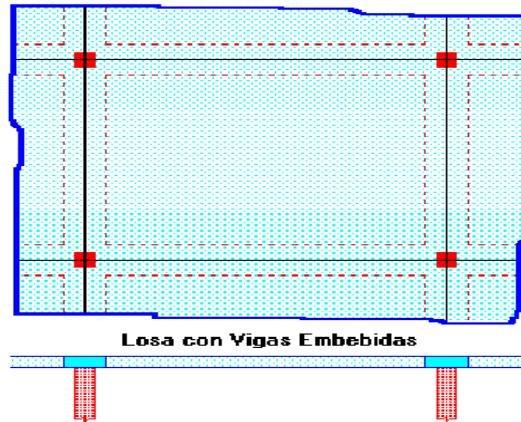
Las losas pueden estar soportadas perimetral e interiormente por vigas monolíticas de mayor peralte, por vigas de otros materiales independientes o integradas a la losa; o soportadas por muros de concreto, muros de mampostería o muros de otro material, en cuyo caso se las llama **Losas Sustentadas sobre Vigas** o **Losas Sustentadas sobre Muros**, respectivamente.



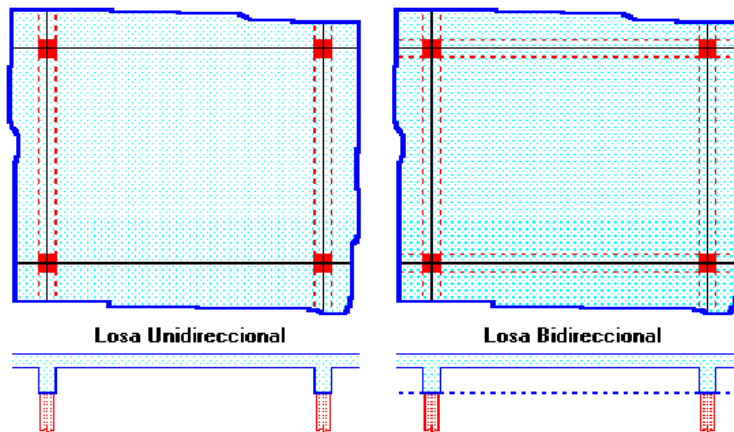
Las losas pueden sustentarse directamente sobre las columnas, llamándose en este caso **Losas Planas**, que en su forma tradicional no son adecuadas para zonas de alto riesgo sísmico como las existentes en nuestro país, pues no disponen de capacidad resistente suficiente para incursionar dentro del rango inelástico de comportamiento de los materiales, con lo que se limita considerablemente su ductilidad. Pueden utilizarse **capiteles** y **ábacos** para mejorar la integración de las losas planas con las columnas, y para mejorar la resistencia de las losas al punzonamiento.



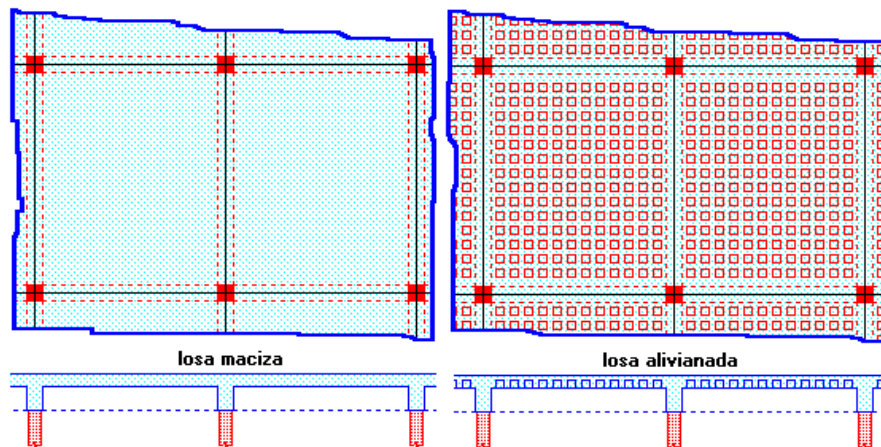
Las losas planas pueden mejorar relativamente su comportamiento ante los sismos, mediante la incorporación de **vigas embebidas** o **vigas banda**, con ductilidades apropiadas, en cuyo caso se llaman **Losas Planas con Vigas Embebidas**, que pueden ser útiles para edificios de hasta 4 pisos, con luces y cargas pequeñas y medianas.



Si la geometría de la losa y el tipo de apoyo determinan que la magnitud de los esfuerzos en dos direcciones ortogonales sean comparables, se denominan **Losas Bidireccionales**. Si los esfuerzos en una dirección son preponderantes sobre los esfuerzos en la dirección ortogonal, se llaman **Losas Unidireccionales**.

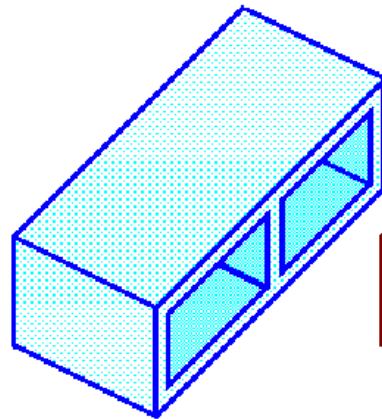


Cuando el concreto ocupa todo el espesor de la losa se la llama **Losa Maciza**, y cuando parte del volumen de la losa es ocupado por materiales más livianos o espacios vacíos se la llama **Losa Alivianada** o **Losa Aligerada**.

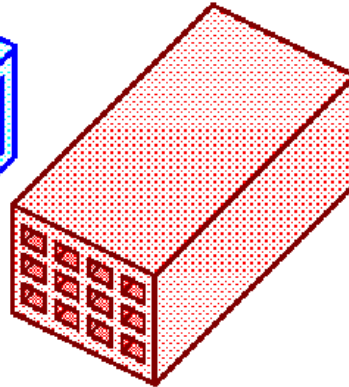


Las losas alivianadas son las más populares en nuestro país por lo que, a pesar de que los códigos de diseño prácticamente no las toman en consideración, en este documento se realizará un análisis detallado de las especificaciones que les son aplicables.

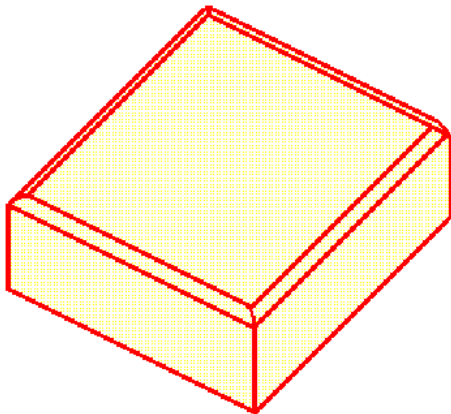
Los alivianamientos se pueden conseguir mediante mampuestos aligerados de concreto (son los de mayor uso en nuestro medio), cerámica aligerada, formaleta plásticas recuperables o formaleta de madera.



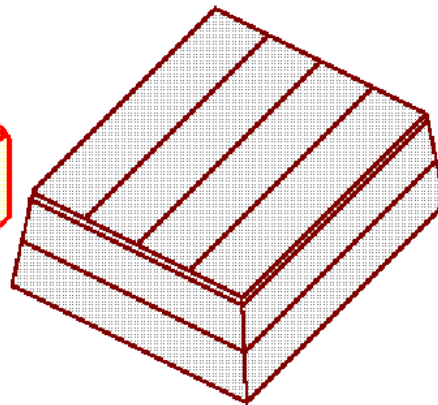
mampuesto de hormigón



cerámica aligerada

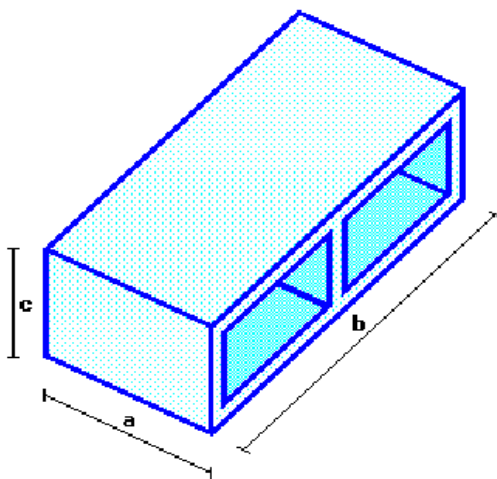


formaleta de plástico



formaleta de madera

Las dimensiones estándar y los pesos de los bloques aligerados de concreto disponibles en el mercado son:

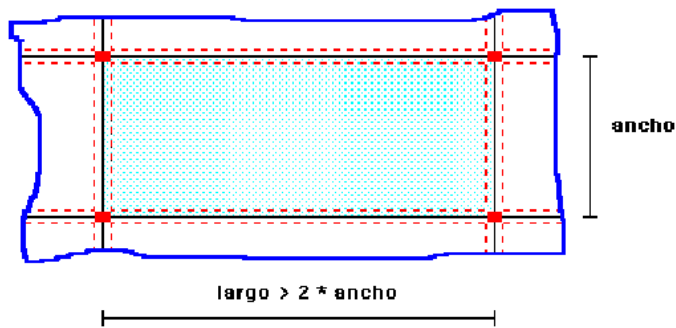
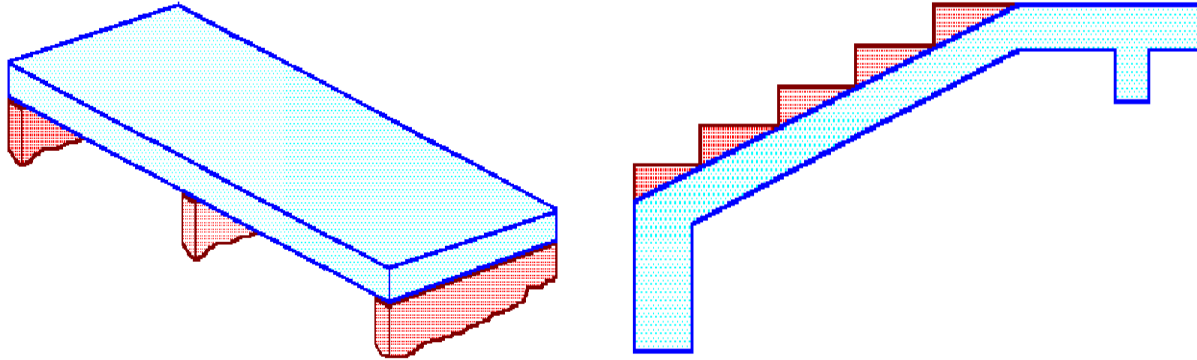


DIMENSIONES DEL BLOQUE			PESO UNITARIO
a	b	c	
20 cm	40 cm	10 cm	8 Kg
20 cm	40 cm	15 cm	10 Kg
20 cm	40 cm	20 cm	12 Kg
20 cm	40 cm	25 cm	14 Kg

### a. LOSAS UNIDIRECCIONALES:

Las Losas Unidireccionales se comportan básicamente como vigas anchas, que se suelen diseñar tomando como referencia una franja de ancho unitario (un metro de ancho). Existen consideraciones adicionales que serán estudiadas en su momento.

Cuando las losas rectangulares se apoyan en dos extremos opuestos, y carecen de apoyo en los otros dos bordes restantes, trabajan y se diseñan como losas unidireccionales.



Cuando la losa rectangular se apoya en sus cuatro lados (sobre vigas o sobre muros), y la relación **largo / ancho** es mayor o igual a 2, la losa trabaja fundamentalmente en la dirección más corta, y se la suele diseñar unidireccionalmente, aunque se debe proveer un mínimo de armado en la dirección ortogonal (dirección larga), particularmente en la zona cercana a los apoyos, donde siempre se desarrollan momentos flectores negativos importantes (tracción en las fibras superiores). Los

momentos positivos en la dirección larga son generalmente pequeños, pero también deben ser tomados en consideración.

### b. LOSAS BIDIRECCIONALES:

Cuando las losas se sustentan en dos direcciones ortogonales, se desarrollan esfuerzos y deformaciones en ambas direcciones, recibiendo el nombre de **Losas Bidireccionales**.

La ecuación general que describe el comportamiento de las losas bidireccionales macizas, de espesor constante, es conocida como la **Ecuación de Lagrange** o **Ecuación de Placas**, que se presenta a continuación:

$$\Delta\Delta w = \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D} \quad D = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \mu^2)}$$

Donde:

w : ordenada de la elástica de deformación de la placa en un punto de coordenadas (x, y)

D : rigidez a la flexión de la placa, análoga al producto E . I en vigas

E : módulo de elasticidad longitudinal del concreto

h : espesor de la placa

m : coeficiente de Poisson del concreto (su valor está comprendido entre 0.15 y 0.20)

La ecuación de Lagrange utiliza como fundamento la **Ley de Deformación Plana de Kirchhoff** que establece que **una placa plana delgada, sometida a cargas perpendiculares a su plano principal, se deformará de modo que todos los puntos materiales que pertenecen a una recta normal a la superficie sin deformarse permanecerán dentro de la correspondiente recta normal a la superficie deformada** (la versión simplificada para vigas diría que **las secciones transversales planas antes de la deformación permanecen planas después de la deformación**).

Las solicitaciones unitarias internas que se desarrollan en las placas quedan definidas por las siguientes expresiones.

$$\mathbf{m}_x = -D \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] \quad \mathbf{m}_y = -D \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \quad \mathbf{m}_{xy} = -D(1 - \mu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

$$\mathbf{v}_x = -D \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \quad \mathbf{v}_y = -D \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right]$$

Donde:

$\mathbf{m}_x$  : momento flector alrededor del eje  $x$ , por unidad de ancho de losa

$\mathbf{m}_y$  : momento flector alrededor del eje  $y$ , por unidad de ancho de losa

$\mathbf{m}_{xy}$  : momento torsor, por unidad de ancho de losa

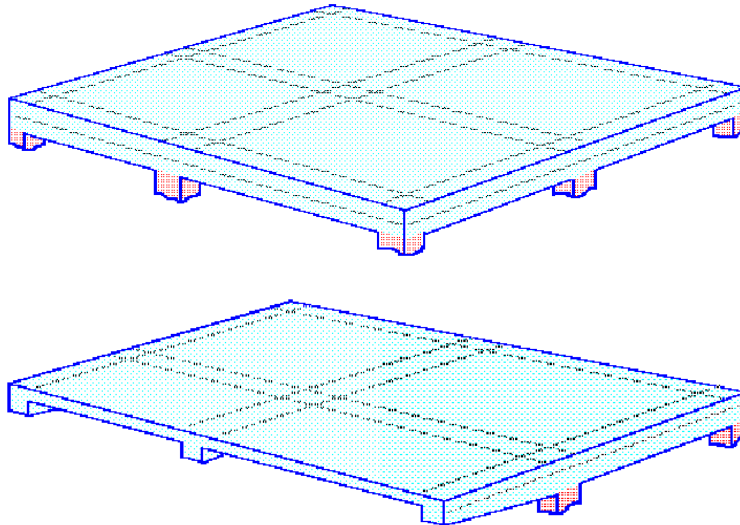
$\mathbf{v}_x$  : esfuerzo cortante en la dirección  $x$ , por unidad de ancho de losa

$\mathbf{v}_y$  : esfuerzo cortante en la dirección  $y$ , por unidad de ancho de losa

Es importante notar que las deformaciones producidas por flexión en una de las direcciones generan esfuerzos flexionantes en la dirección perpendicular debido al efecto de Poisson. También debe tomarse en consideración de que simultáneamente a la flexión en las dos direcciones, aparecen momentos torsionantes que actúan sobre la losa.

Las dos primeras ecuaciones son análogas a la **Ecuación General de la Flexión en Vigas**, pero se incluye la deformación provocada por los momentos flexionantes transversales.

Las solicitaciones de diseño para las losas bidireccionales dependen de las cargas y las condiciones de apoyo. Existen tablas de diseño de losas para las cargas y las condiciones de apoyo (o de carencia de apoyo) más frecuentes (empotramiento o continuidad total; apoyo fijo con posibilidad de rotación; borde libre o voladizo), y en casos de geometrías y cargas excepcionales se pueden utilizar los métodos de las **Diferencias Finitas** o de los **Elementos Finitos**.



### 1.3 ESPECIFICACIONES CODIFICADAS PARA LOSAS

#### a. DEFLEXIONES MAXIMAS EN LOSAS:

El Reglamento Nacional de Construcciones y el ACI definen deflexiones máximas calculadas para losas macizas y nervadas que varían desde  $L_n/180$  hasta  $L_n/480$ , dependiendo del uso de la losa.

#### Máximas Deflexiones Permisibles Calculadas en Losas

TIPO DE MIEMBRO	DEFLEXIÓN QUE SE HA DE CONSIDERAR	LÍMITE DE LA DEFLEXIÓN
Techos planos que no soportan carga, o fijos a elementos no estructurales que es posible sean dañados por grandes deflexiones	Deflexión inmediata debido a carga viva	$L_n/180$
Pisos que no soportan carga, o fijos a elementos no estructurales que es posible sean dañados por grandes deflexiones	Deflexión inmediata debido a carga viva	$L_n/360$
Construcción de techo o piso que soporta o que está fija a elementos no estructurales que sean dañados por grandes deflexiones	Aquella parte de la deflexión total que ocurre después de fijar elementos no estructurales (la suma de la deflexión a largo plazo debido a las cargas sostenidas y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional)	$L_n/480$

Para el caso de losas rectangulares apoyadas sobre vigas de mayor peralte cuya relación **lado largo / lado corto** sea menor que **2**, el cálculo de las deflexiones se realiza con tres ecuaciones propuestas por los códigos.

La ecuación básica define una altura mínima genérica para la losa:

$$h_{\min} = \frac{L_n (800 + 0.0712 F_y)}{36000 + 5000\beta \left[ \alpha_m - 0.5(1 - \beta_s) \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]}$$

Donde:

**h**: peralte o espesor de la losa maciza o altura de inercia equivalente en la losa nervada

$L_n$ : claro libre en la dirección larga del panel, medido de cara a cara de las columnas en losas sin vigas, y de cara a cara de las vigas en losas sustentadas sobre vigas

$F_y$ : esfuerzo de fluencia del acero en  $\text{Kg/cm}^2$

$\alpha_m$ : promedio de los valores de  $\alpha$  para las cuatro vigas en los bordes del panel, donde

$\alpha$ : relación entre  $E \cdot I$  de la sección de la viga y  $E \cdot I$  del ancho de la losa limitada lateralmente por las líneas de centro de los paneles adyacentes a cada lado de la viga (donde las hubiera)

$\beta$ : relación de forma del panel = **panel largo libre / panel corto libre**

$\beta_s$ : relación entre la longitud de los bordes continuos del panel y el perímetro del panel (1 para un panel interior,  $1/2$  para un panel esquinero)





Los resultados de la ecuación anterior no deben ser menores que la siguiente expresión:

$$h_{\min} \geq \frac{L_n(800 + 0.0712F_y)}{36000 + 5000\beta(1 + \beta_s)}$$

Así mismo, el valor obtenido con la ecuación básica no necesita ser mayor que la siguiente expresión:

$$h_{\min} \leq \frac{L_n(800 + 0.0712F_y)}{36000}$$

Además de las expresiones anteriores, el Reglamento Nacional de Construcciones establece que la altura de las losas no debe ser menor que los siguientes valores:

Losas sin vigas o ábacos ..... 12 cm

Losas sin vigas pero con ábacos que cubran al menos

un sexto de la luz centro a centro y se proyecten por

debajo de la losa al menos  $h/4$  ..... 10 cm

Losas que tengan vigas en los cuatro bordes, con un

valor de  $a_m$  por lo menos igual a 2.0 ..... 9 cm

El Reglamento Nacional de Construcciones y el ACI también especifican un peralte mínimo de las losas armadas en una sola dirección para limitar las deflexiones a valores razonables, cuando no se calculan deflexiones. La siguiente tabla puede ser usada también para losas bidireccionales sobre vigas de mayor peralte cuya relación **lado largo / lado corto** sea mayor que 2 (trabajan fundamentalmente en la dirección corta), arrojando resultados conservadores.

#### Altura Mínima de Vigas o Losas en una Dirección Cuando no se Calculan Deflexiones

MIEMBROS	ALTURA MÍNIMA H			
	Libremente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Losas macizas en una dirección	$L_n/20$	$L_n/24$	$L_n/28$	$L_n/10$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$L_n/16$	$L_n/18.5$	$L_n/21$	$L_n/8$

Donde:

**$L_n$** : claro libre en la dirección de trabajo de la losa, medido de cara interna a cara interna de los elementos que sustentan a la losa

### b. ARMADURA MINIMA:

En losas de espesor constante (losas macizas), cuando se utilice acero de refuerzo con esfuerzo de fluencia  $F_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$  o  $F_y = 3500 \text{ Kg/cm}^2$ , la cuantía de armado mínimo para resistir la retracción de fraguado y los cambios de temperatura  $\rho_{\min}$  será de 0.0020, en dos direcciones ortogonales. Esta armadura no debe colocarse con separaciones superiores a 5 veces el espesor de la losa ni 45 cm.

En losas de espesor constante, cuando se utilice acero de refuerzo con  $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ , la cuantía mínima para resistir cambios temperatura y retracción de fraguado  $\rho_{\min}$  será de 0.0018, y los espaciamientos serán similares al punto anterior.

En losas nervadas, la cuantía mínima de flexión  $\rho_{\min}$  se calculará mediante la siguiente expresión:

$$\rho_{\min} = \frac{14}{F_y}$$

El armado en losas nervadas se calculará tomando como ancho de la franja de concreto el ancho de los nervios.

En la loseta de compresión de las losas nervadas deberá proveerse de acero de refuerzo para resistir la retracción de fraguado y los cambios de temperatura, de un modo similar a las losas macizas de espesor constante.

La diferencia entre las especificaciones para losas nervadas y para losas macizas se produce por que los nervios de las losas nervadas se comportan fundamentalmente como una malla espacial de vigas, y la loseta de compresión se comporta como una combinación de placa y membrana.

### c. ARMADURA MAXIMA:

Con el objeto de asegurar una ductilidad mínima, no se podrá proporcionar más armadura a una losa que el 75% de la cuantía balanceada cuando no resiste sismo, y que el 50% de la cuantía balanceada cuando resiste sismo.

$$\rho_{\text{máx}} = 0.75 \rho_b \text{ (si las losas no resisten sismo)}$$

$$\rho_{\text{máx}} = 0.50 \rho_b \text{ (si las losas resisten sismo)}$$

La cuantía balanceada está definida por: 
$$\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f'_c}{F_y} \cdot \frac{0.003}{\frac{F_y}{E_s} + 0.003}$$

Donde:

$\rho_b$ : cuantía balanceada

$f'_c$ : resistencia característica a la rotura del concreto

$F_y$ : esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

$E_s$ : módulo de elasticidad del acero

### c. RECUBRIMIENTO MINIMO:

El acero de refuerzo en losas fundidas in situ debe tener un recubrimiento mínimo de **2.5 cm**.

El acero de refuerzo en losas prefabricadas debe tener un recubrimiento mínimo de **1.5 cm**.

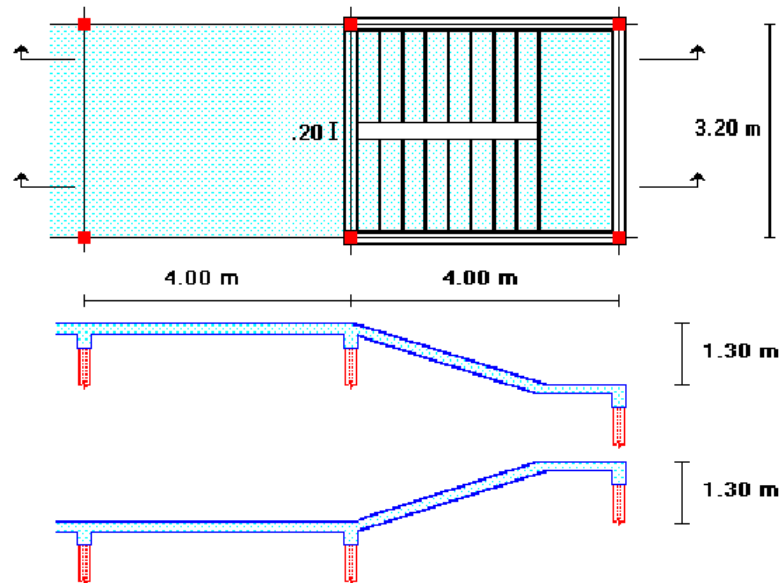


#### d. ABERTURAS EN LOSAS:

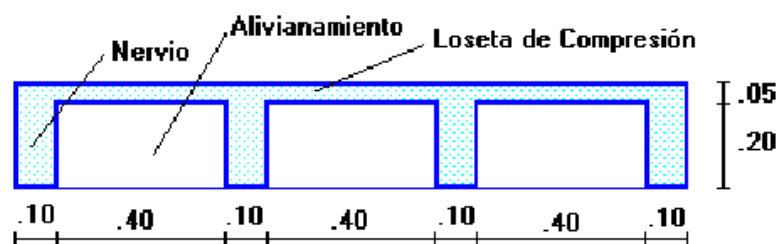
Se admiten aberturas en losas si se demuestra mediante análisis que la resistencia proporcionada es apropiada. No se requerirá de análisis especial por la presencia de una abertura en la zona central siempre que se mantenga la cantidad total de refuerzo requerido en el tablero sin la abertura. El refuerzo eliminado por la presencia de la abertura deberá colocársele alrededor de la abertura, armando nervios o vigas embebidas de borde.

#### EJEMPLO 1.1:

Diseñar la siguiente escalera construida con concreto de resistencia característica  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  y acero con esfuerzo de fluencia  $Fy = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ :



Se utilizará tentativamente una losa alivianada armada en una dirección, con un espesor de 25 cm, con loseta de compresión de 5 cm de espesor, con nervios de 10 cm de ancho cada 50 cm. Los nervios de distribución transversales se colocarán cada metro de distancia.



#### Control de Deflexión:

$$h_{\min} = L_n / 18.5 = (400 \text{ cm} - 30 \text{ cm}) / 18.5 = 20 \text{ cm}$$

$$h = 25 \text{ cm} > h_{\min} \text{ (O.K.)}$$

#### Determinación de las Cargas de Diseño:

$$\text{Peso loseta de compresión} = 1.60 \times 1.00 \times 0.05 \times 2400 = 192 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Peso nervios longitudinales} = 4 \times 0.10 \times 0.20 \times 2400 = 192 \text{ Kg/m}$$

Peso de nervios transversales =  $0.10 \times 0.20 \times 1.60 \times 2400 = 77 \text{ Kg/m}$

Alivianamientos =  $15 \text{ bloques} \times 12 \text{ Kg/bloque} = 180 \text{ Kg/m}$

**Peso Propio = 641 Kg/m**

Peso relleno gradas =  $1.60 \times 1.00 \times 0.09 \times 2000 = 288 \text{ Kg/m}$

Enlucido y masillado =  $1.60 \times 1.00 \times 0.04 \times 2200 = 141 \text{ Kg/m}$

Recubrimiento de piso =  $1.60 \times 1.00 \times 0.02 \times 2200 = 71 \text{ Kg/m}$

Pasamanos =  $50 \text{ Kg/m}$

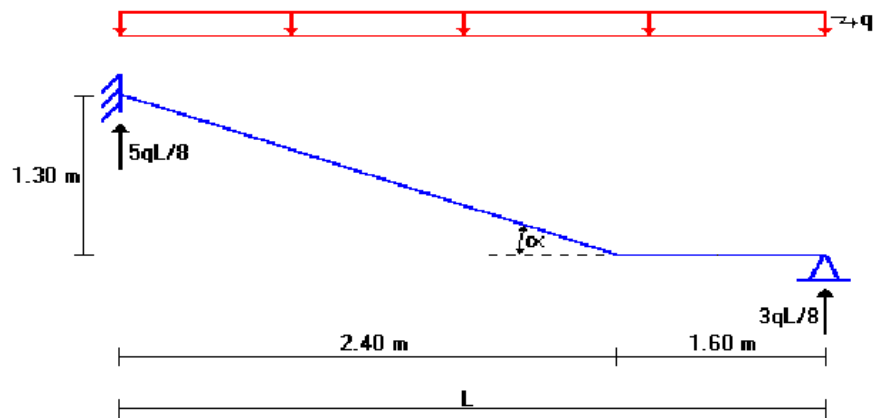
**Carga Permanente = 1191 Kg/m**

**Carga Viva =  $1.60 \times 500 = 800 \text{ Kg/m}$**

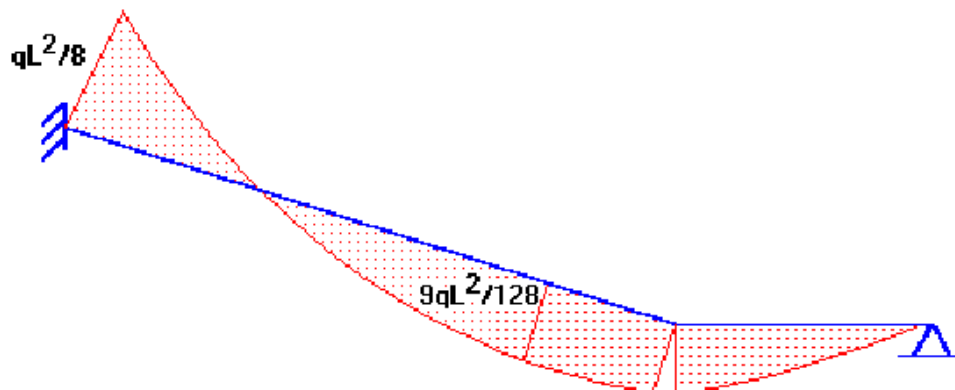
**Carga Ultima de Diseño**

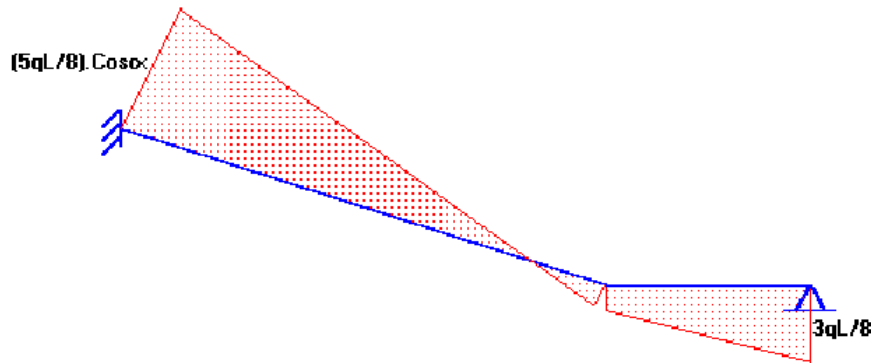
$U = 1.4 D + 1.7 L = 1.4 (1191) + 1.7 (800) = 3027 \text{ Kg/m}$

**Modelo Estructural de la Escalera y Reacciones de Apoyo:**



**Diagrama de Momentos Flectores:**



**Diagrama de Fuerzas Cortantes:****Determinación de Momentos Flectores Ultimos de Diseño:**

El momento flector negativo se calcula en la cara de la viga de soporte, que tiene 30 cm de base (a 15 cm del eje):

$$Mu(-) = \frac{q \cdot L^2}{8} - \frac{5}{8}(q \cdot L)x + q \frac{x^2}{2} \quad Mu(-) = \frac{(3027)(4)^2}{8} - \frac{5}{8}(3027)(4)(0.15) + (3027) \frac{(0.15)^2}{2}$$

$$Mu(-) = 4953 \text{ Kg-m} = 495300 \text{ Kg-cm}$$

El momento flector positivo se calcula en el tramo:

$$Mu(+) = \frac{9}{128} q \cdot L^2 \quad Mu(+) = \frac{9}{128} (3027)(4)^2$$

$$Mu(+) = 3405 \text{ Kg-m} = 340500 \text{ Kg-cm}$$

**Determinación de la Armadura Longitudinal Negativa (hierro superior):**

$$Mu(-) = 495300 \text{ Kg-cm}$$

$$F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f = 0.9 \text{ (flexión)}$$

$$b = 40 \text{ cm (cuatro nervios comprimidos)}$$

$$d = 25 \text{ cm} - 3 \text{ cm} = 22 \text{ cm}$$

Para calcular la sección de acero requerida en una pieza rectangular sometida a flexión se puede utilizar la siguiente expresión:

$$A_s = \frac{0.85 f'_c b d}{F_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2Mu}{0.85 \phi f'_c b d^2}} \right]$$

Deberá verificarse posteriormente que no se haya sobrepasado de la fracción de cuantía de armado balanceada especificada en los códigos (75% cuando no resiste sismo y 50% cuando resiste sismo), pues la expresión detallada anteriormente presupone que el acero de refuerzo entra en fluencia. Además deberá controlarse que la cuantía de armado supere a la cuantía mínima.

Se calcula la sección de acero para los cuatro nervios, aplicando la expresión antes señalada:

$$A_s = \frac{0.85(210)(40)(22)}{4200} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2(495300)}{0.85(0.9)(210)(40)(22)^2}} \right]$$

$A_s = 6.53 \text{ cm}^2$  para los cuatro nervios =  $1.63 \text{ cm}^2$  por cada nervio

$A_s = 1 \Phi 16 \text{ mm}$  por cada nervio

Determinación de la cuantía real de armado:  $\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{4(2.01 \text{ cm}^2)}{(40 \text{ cm})(22 \text{ cm})} = 0.00914$

Verificación de la armadura máxima permisible:

$$\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f'_c}{F_y} \cdot \frac{0.003}{\frac{F_y}{E_s} + 0.003} \quad \rho_b = (0.85)(0.85) \frac{210 \text{ Kg/cm}^2}{4200 \text{ Kg/cm}^2} \cdot \frac{0.003}{\frac{4200 \text{ Kg/cm}^2}{2100000 \text{ Kg/cm}^2} + 0.003} = 0.0217$$

$\rho \text{ máx} = 0.75 \rho_b = 0.75 (0.0217) = 0.0163 \quad \rho < \rho \text{ máx (O.K.)}$

Verificación de la armadura mínima requerida:

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{0.79\sqrt{f'_c}}{F_y} = \frac{0.79\sqrt{210}}{4200} = 0.00273 \quad \rho_{\text{mín}} = \frac{14}{F_y} = \frac{14}{4200} = 0.00333$$

(las losas nervadas son tratadas como vigas integradas)

$\rho > \rho \text{ mín (O.K.)}$

Determinación de la Armadura Longitudinal Positiva (hierro inferior):

$b = 160 \text{ cm}$  (ancho en la loseta de compresión)

$$A_s = \frac{0.85(210 \text{ Kg/cm}^2)(160 \text{ cm})(22 \text{ cm})}{4200 \text{ Kg/cm}^2} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2(340500)}{0.85(0.9)(210)(160)(22)^2}} \right]$$

$A_s = 4.15 \text{ cm}^2$  para los cuatro nervios

$A_s = 1.04 \text{ cm}^2$  por cada nervio (1  $\Phi 12 \text{ mm}$  por cada nervio)

Determinación de la Cuantía de Armado:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{4(1.13 \text{ cm}^2)}{(40 \text{ cm})(22 \text{ cm})} = 0.00514$$

La cuantía de armado está comprendida entre los valores mínimos y máximos permitidos.

Verificación del Dimensionamiento bajo Cargas de Corte:

La resistencia del concreto simple al cortante es:

$$v_c = 0.5\sqrt{f'_c} \quad v_c = 7.25 \text{ Kg/cm}^2$$

Se calcula el cortante solicitante:  $Tg(a) = 1.30 / 2.40$   $a = 28.44^\circ$

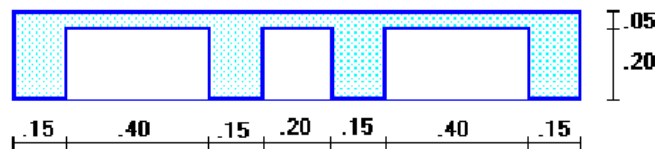
$$V_u = \{ (3027 \cdot 4) (5/8) - 3027 \cdot (0.15 + 0.22) \} \cdot \cos(28.44^\circ)$$

$V_u = 5669$  Kg. para los cuatro nervios

$$v_u = \frac{V_u}{\phi \cdot b \cdot d} = \frac{5669}{(0.85)(40)(22)} = 7.58 \text{ Kg/cm}^2$$

$v_u > v_c$  (La sección escogida no es apropiada)

Se debe incrementar la sección resistente al corte, para disminuir el esfuerzo cortante, lo que se puede lograr aumentando el ancho de los nervios de 10 cm a 15 cm, lo que implicará un reajuste en la distribución de los alivianamientos.



### Determinación de las Cargas de Diseño:

$$\text{Peso loseta de compresión} = 1.60 \times 1.00 \times 0.05 \times 2400 = 192 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Peso nervios longitudinales} = 0.15 \times 0.20 \times 4 \times 2400 = 288 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Peso de nervios transversales} = 0.10 \times 0.20 \times 1.60 \times 2400 = 77 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Alivianamientos} = 13 \text{ bloques} \times 12 \text{ Kg/bloque} = 156 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Peso Propio} = 713 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Peso propio de la losa} = 713 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Peso relleno gradas} = 1.60 \times 1.00 \times 0.09 \times 2000 = 288 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Enlucido y masillado} = 1.60 \times 1.00 \times 0.04 \times 2200 = 141 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Recubrimiento de piso} = 1.60 \times 1.00 \times 0.02 \times 2200 = 71 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Pasamanos} = 50 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Carga Permanente} = 1263 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Carga Viva} = 1.60 \times 500 = 800 \text{ Kg/m}$$

### Carga Ultima de Diseño

$$U = 1.4 D + 1.7 L = 1.4 (1263) + 1.7 (800) = 3128 \text{ Kg/m}$$

**Determinación de los Momentos Flectores Ultimos de Diseño:**

$$M_u(-) = 3128 (4)^2/8 - 3128(4)(5/8)(0.15) + 3128 (0.15)^2/2 = 5118 \text{ Kg-m} = 511800 \text{ Kg-cm}$$

$$M_u(+) = 9(3128)(4)^2/128 = 3519 \text{ Kgr-m} = 351900 \text{ Kgr-cm}$$

**Determinación de la Armadura Longitudinal:**

$$A_s(-) = 6.77 \text{ cm}^2 \text{ por los cuatro nervios} = 1.69 \text{ cm}^2 \text{ por nervio}$$

**$A_s(-) = 1 \Phi 16 \text{ mm}$  en la parte superior de cada nervio**

$$A_s(+) = 4.29 \text{ cm}^2 \text{ por los cuatro nervios} = 1.07 \text{ cm}^2 \text{ por nervio}$$

**$A_s = 1 \Phi 12 \text{ mm}$  en la parte inferior de cada nervio**

$$\rho_{\text{mín}} = 14 / F_y = 14 / 4200 = 0.003333$$

$$A_{s_{\text{mín}}} = 0.003333 (15) (22) = 1.10 \text{ cm}^2 \text{ por nervio}$$

**$A_{s_{\text{mín}}} = 1 \Phi 12 \text{ mm}$  cada nervio**

**Verificación del Dimensionamiento bajo Cargas de Corte:**

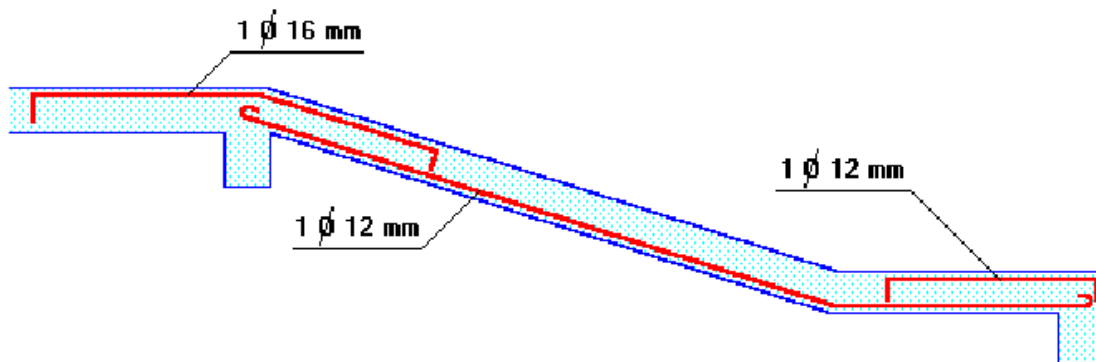
$$V_u = \{ (3128*4) (5/8) - 3128*(0.15+0.22) \} \cdot \text{Cos} (28.44^\circ)$$

$$V_u = 5859 \text{ Kg para los cuatro nervios}$$

$$v_u = \frac{V_u}{\phi \cdot b \cdot d} = \frac{5859}{(0.85)(60)(22)} = 5.22 \text{ Kg / cm}^2 < v_c \quad (\text{O.K.})$$

A pesar de que el análisis estructural no lo revela, pues el modelo empleado es muy simplificado, siempre existirá un pequeño momento flector negativo en la unión de la losa con la viga extrema, debido a la rigidez torsional de la viga de apoyo, que provoca algún nivel de restricción a la rotación libre. Es necesario, por consiguiente, proveer de un armado mínimo negativo a la losa para soportar tal sollicitación.

A continuación se presenta un detalle del armado de los nervios:



### Armadura de Temperatura y Retracción de fraguado:

Para absorber los esfuerzos generados en el concreto de la loseta de compresión, por concepto de cambios de temperatura y retracción de fraguado, y permitir un control eficiente de la fisuración, se puede utilizar una malla electrosoldada con esfuerzo de fluencia  $F_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$ , requiriéndose la siguiente armadura mínima en las dos direcciones:

$$\rho_{\text{mín}} = 0.0020$$

$$A_{s_{\text{mín}}} = \rho_{\text{mín}} \cdot b \cdot d$$

$$A_{s_{\text{mín}}} = (0.0020) (100 \text{ cm}) (2.5 \text{ cm})$$

$$A_{s_{\text{mín}}} = 0.50 \text{ cm}^2 \text{ por metro de ancho}$$

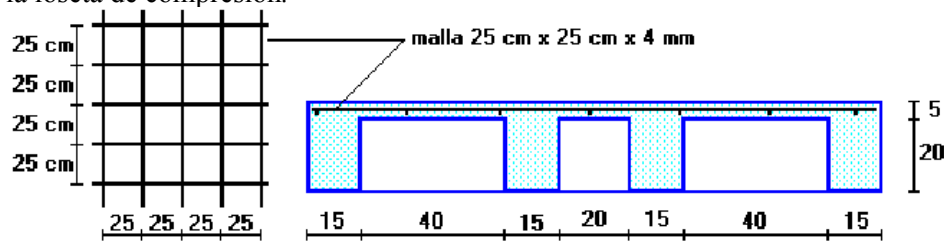
El máximo espaciamiento entre alambres de la malla electrosoldada es 5 veces el espesor de la loseta o 45 cm, el que sea menor:

$$e_{\text{máx}} = 5 (5 \text{ cm}) = 25 \text{ cm}$$

$$e_{\text{máx}} < 45 \text{ cm}$$

$$e_{\text{máx}} = 25 \text{ cm}$$

Se puede escoger una malla con alambres de 4 mm de diámetro espaciados cada 25 cm, que debe colocarse a media altura en la loseta de compresión.



### 1.4 TABLAS PARA EL DISEÑO DE LOSAS MACIZAS Y NERVADAS RECTANGULARES SUSTENTADAS PERIMETRALMENTE EN VIGAS:

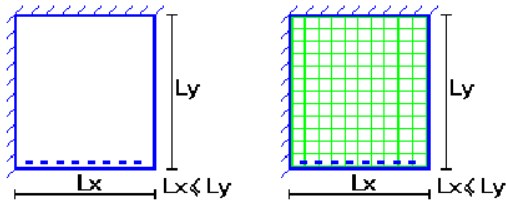
Existen tablas para el diseño de losas, desarrolladas por diferentes autores, que facilitan el análisis y el diseño de las losas de geometrías y estados de carga más comunes, basadas en la mayor parte de los casos en la **Teoría de Placas**.

Se han preparado, para esta publicación, **tablas para el diseño de losas sustentadas perimetralmente en vigas de mayor peralte que las losas** (de este modo nos aseguramos que las deflexiones en las vigas no tienen gran influencia sobre el comportamiento de las losas), sometidas a cargas uniformemente distribuidas. El tipo de sustentación está definido por las condiciones de borde de las losas.

Para el modelamiento de las losas macizas se ha utilizado el **Método de los Elementos Finitos** basado en la Teoría de Placas, el mismo que se recomienda para analizar losas macizas de geometrías, estados de carga o condiciones de borde especiales, que no aparezcan en las tablas. Otra alternativa de análisis podría ser el uso del **Método de las Diferencias Finitas**.

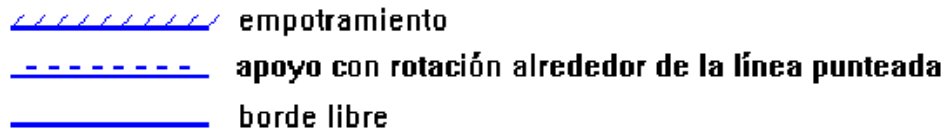
Para modelar las losas nervadas se ha utilizado el **Análisis Matricial de Estructuras** tradicional, para estructuras conformadas por barras rectas espaciales bajo la hipótesis de que el efecto de flexión es dominante sobre las deformaciones de cortante y torsión.



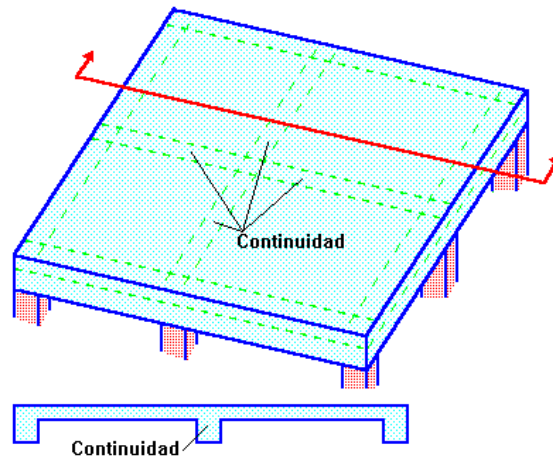


Las tablas para losas nervadas constituyen una novedad importante con respecto a otras publicaciones similares. Las deformaciones y los momentos flectores que se obtienen en el modelo de losas nervadas son generalmente mayores que los valores obtenidos en losas macizas, debido a que los momentos torsores en las placas se transforman en momentos flectores en los nervios.

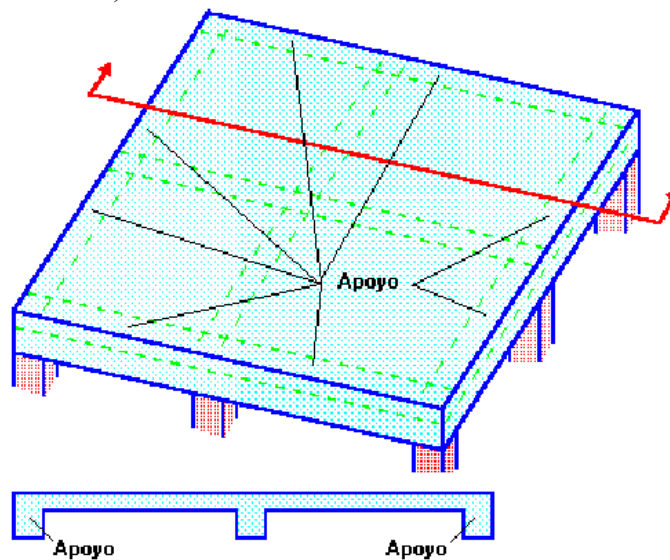
En las tablas publicadas a continuación se presentan tres tipos genéricos de condiciones de borde:



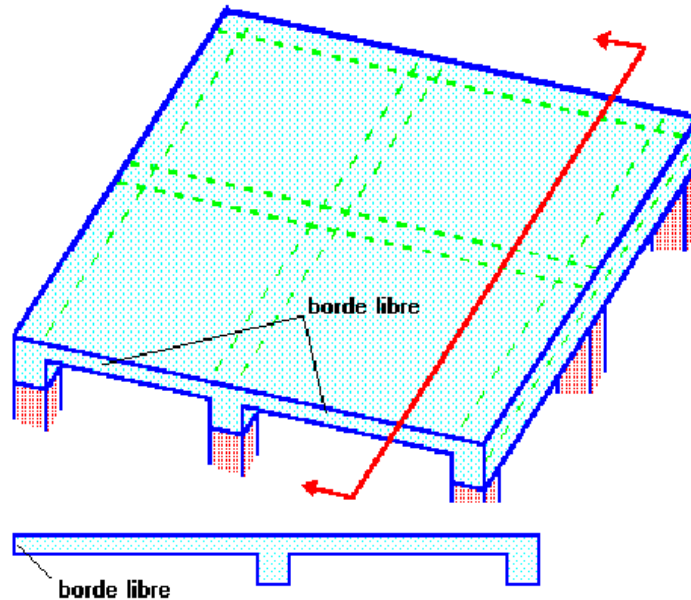
El **empotramiento** se lo emplea para modelar la **continuidad** de la losa en el borde seleccionado, usualmente proporcionada por otra losa contigua de dimensiones comparables, proporcionada por un muro extremo integrado a la losa como los que se tienen en los subsuelos de las edificaciones, o proporcionada por una viga de borde de gran rigidez torsional (de gran sección y dimensiones transversales).



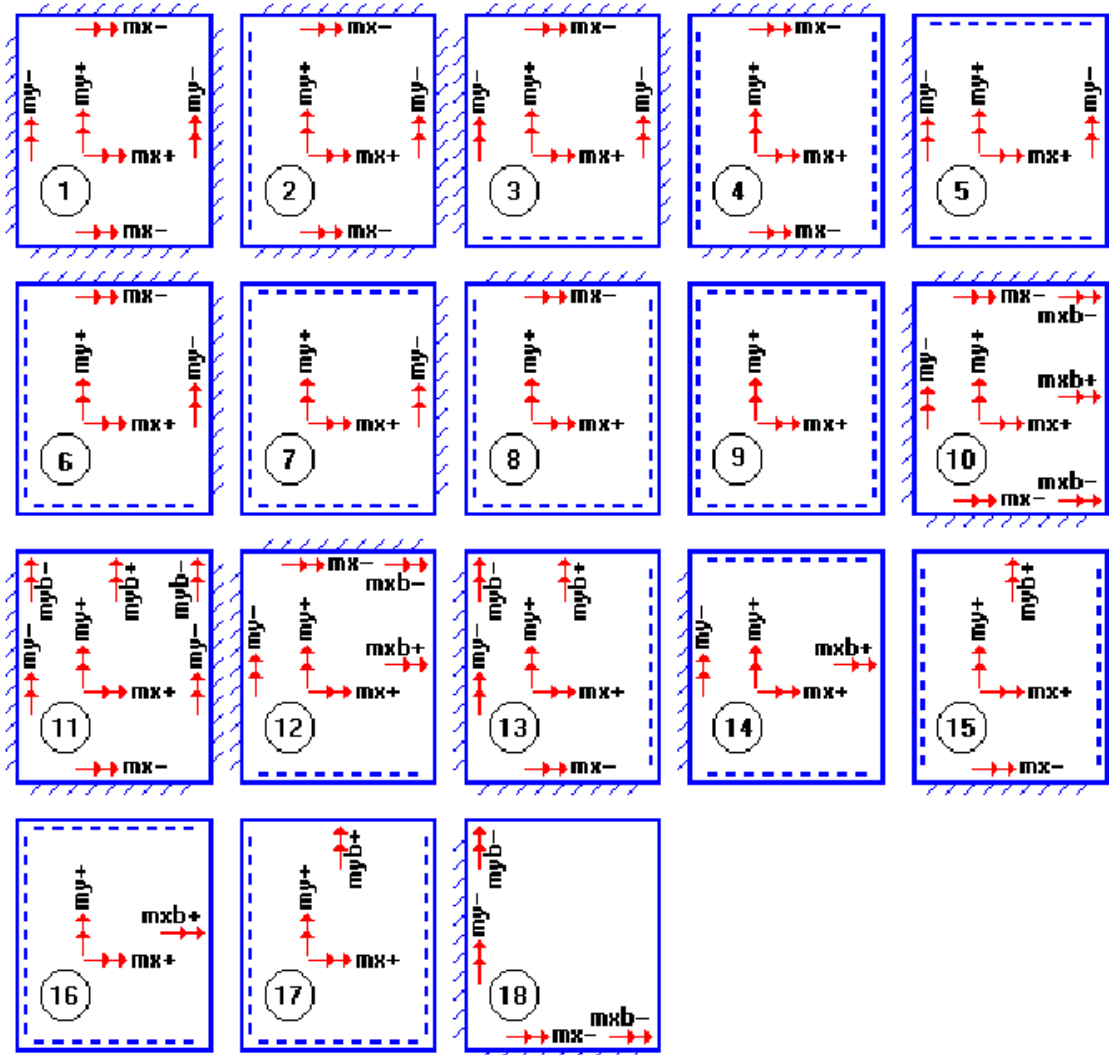
El **apoyo con rotación alrededor de un eje** se utiliza para modelar la presencia de una viga de borde de dimensiones normales (de peralte mayor al de la losa, pero no una viga de gran peralte ni una viga de gran sección transversal) sin losa contigua, o para modelar la presencia de un muro no integrado a la losa (usualmente muros de otro material).



El **borde libre** modela la inexistencia de una viga de borde de mayor peralte que la losa, la inexistencia de una losa contigua, o la inexistencia de un muro integrado a la losa.



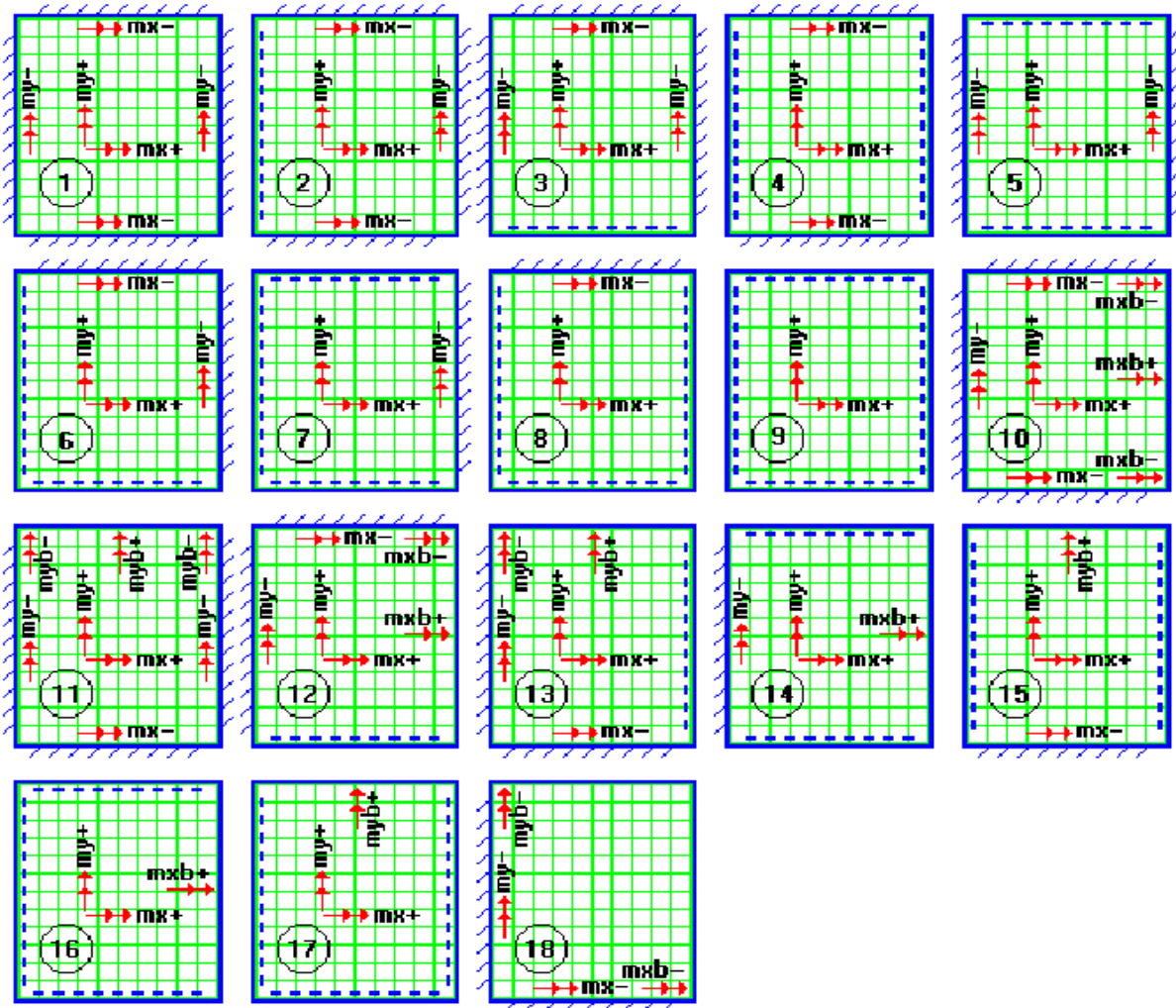
Los 18 modelos diferentes de losas macizas que aparecen en las tablas de esta publicación, son:



Es importante notar que, dependiendo de las diferentes condiciones de borde, es posible que algunos modelos de losas carezcan de determinados tipos de momentos flectores (fundamentalmente los momentos flectores negativos de apoyo cuando es posible la rotación alrededor de la línea de apoyo).

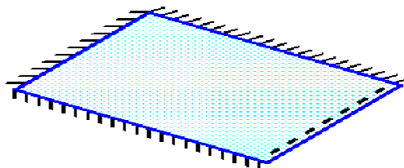
En otros casos, es necesario definir dos momentos flectores del mismo tipo para describir su variabilidad a lo largo de la losa (dos momentos flectores positivos y dos momentos flectores negativos en los bordes sustentados, en losas con un borde en voladizo).

Los 18 modelos diferentes de losas nervadas que aparecen en las tablas de esta publicación, son:

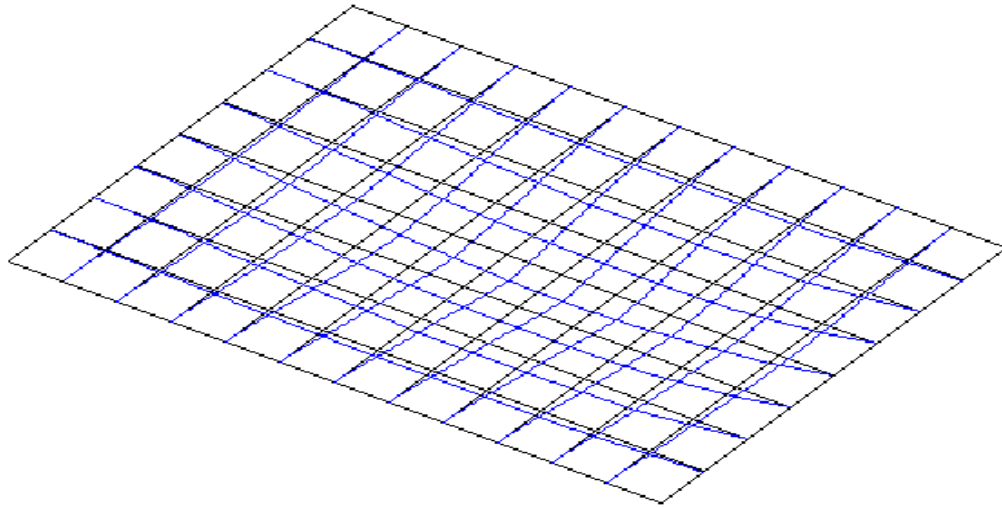


Mediante los coeficientes adimensionales de las tablas ( $d$ ,  $m$ ), se pueden calcular la deflexión máxima de la losa ( $D$ ), y los momentos flectores positivos y negativos máximos ( $M$ ) en las dos direcciones, por unidad de ancho de la losa.

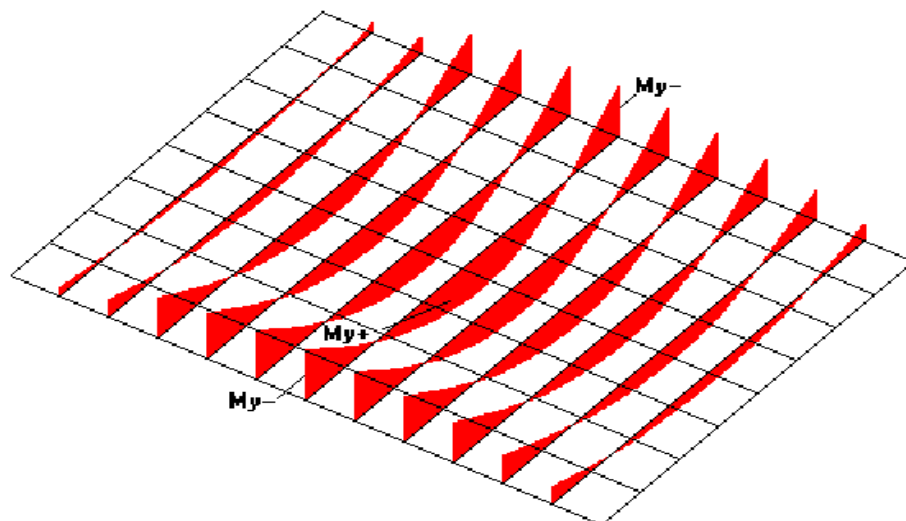
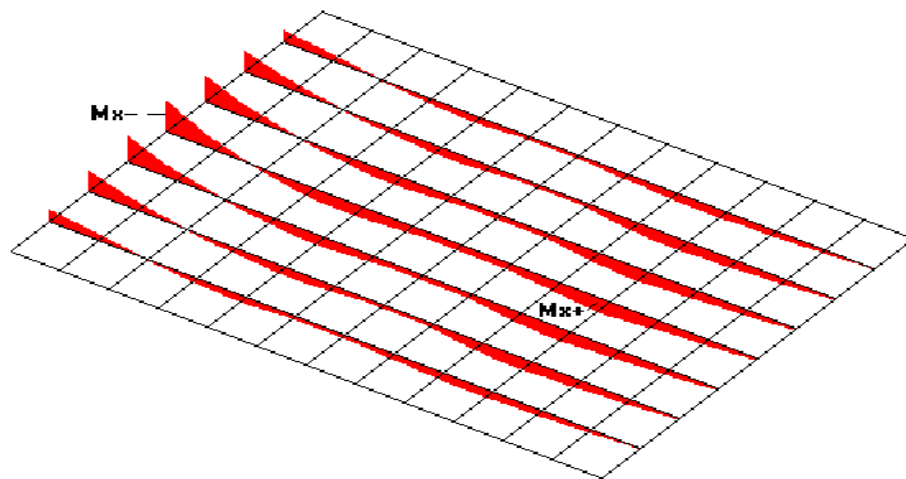
Si se toma el tercer modelo de losa nervada, con una relación **lado corto / lado largo** de 0.70, la estructura idealizada sería:



La elástica de deformación producida por una carga uniformemente distribuida que actúe sobre toda la superficie de la losa anterior tendría la siguiente geometría:

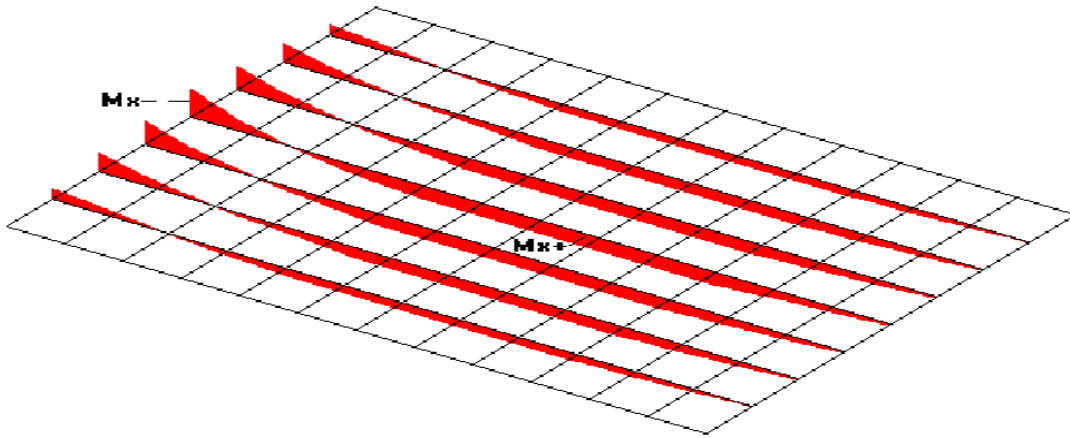


Por su parte, la distribución cualitativa de los momentos flectores, en las 2 direcciones principales de la losa del ejemplo anterior, para el estado de cargas antes mencionado sería similar a la siguiente:



Debe observarse que, mientras la geometría (no la magnitud) del diagrama de momentos flectores en la dirección corta es muy similar al diagrama de momentos en vigas, la geometría del diagrama de momentos flectores en la dirección larga tiende a alargarse y a disminuir en su magnitud en la zona central de momentos flectores positivos. Las ordenadas de los diagramas de momentos en losas son generalmente menores a las existentes en vigas con el mismo estado de cargas, debido a la distribución de las cargas en dos direcciones.

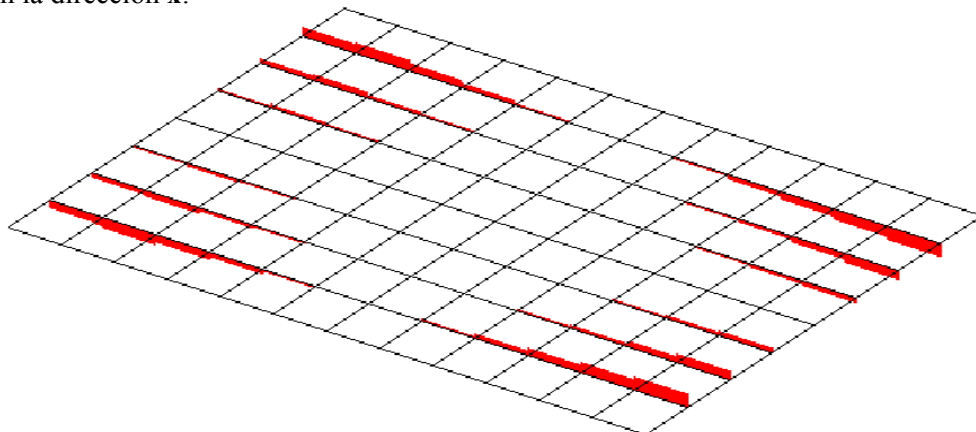
Para relaciones **lado corto / lado largo** inferiores a 0.70 hay una tendencia clara a la aparición de 2 momentos flectores máximos positivos en la dirección larga, uno cercano a cada borde. Los momentos flectores positivos son pequeños en la zona central. Este último hecho debe ser tomado con mucho cuidado pues al utilizar cargas uniformemente distribuidas que actúen sólo en ciertos sectores de la superficie de las losas, estos momentos flectores máximos positivos se desplazan de las zonas cercanas a los bordes hacia las zonas centrales, por lo que es necesario trabajar con una envolvente de momentos flectores. Para el ejemplo anterior, la envolvente de momentos flectores en la dirección larga sería similar a la siguiente:

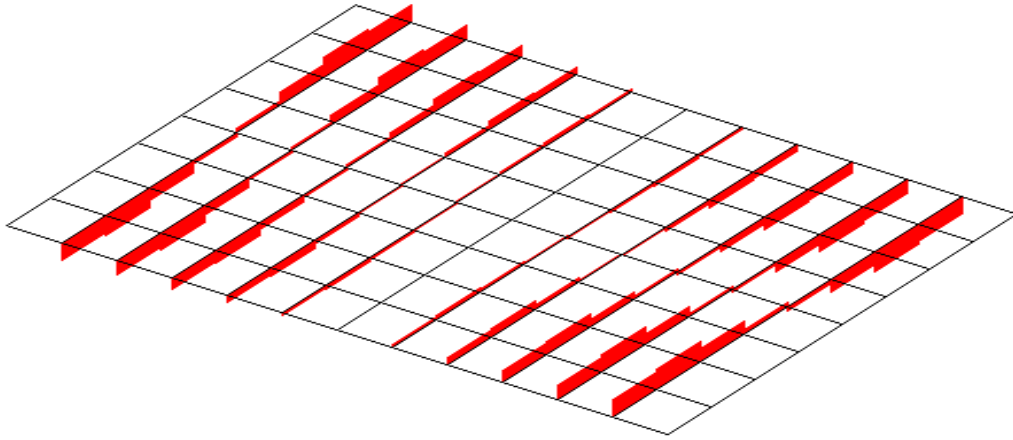


Si bien es cierto que los momentos flectores que se producen en las zonas esquineras son menores que los momentos flectores en las zonas alejadas de las esquinas, es recomendable que su armado (léase su capacidad resistente) sea similar a aquel calculado para las zonas alejadas de las esquinas, debido a la presencia de momentos torsores y deformación torsionante en las esquinas.

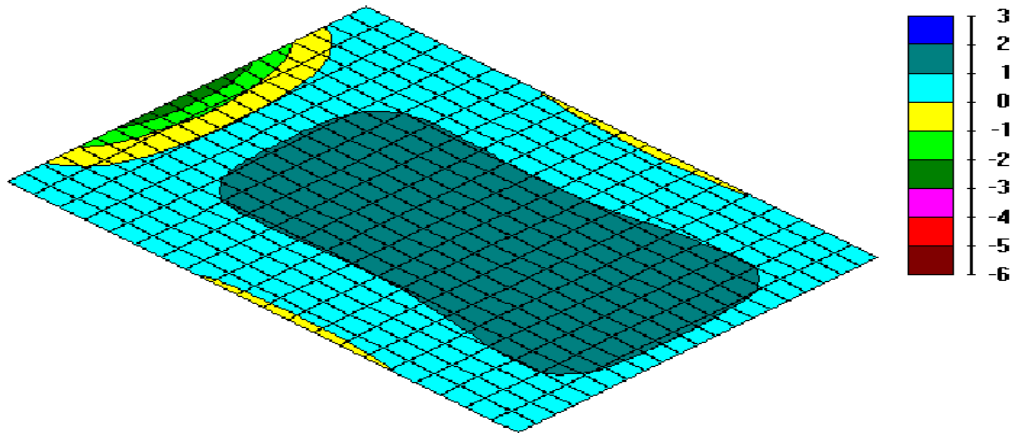
Los momentos torsores en la losa son generalmente de un orden de magnitud inferior a los momentos flectores, por lo que usualmente no requieren de diseño especial, siempre que se emplee la recomendación anterior. En el caso de las losas nervadas, adicionalmente a la recomendación de armado esquinero, debe cuidarse de que el ancho de los nervios cerca a las esquinas sea al menos la quinta parte de la dimensión correspondiente de los alivianamientos, para que tengan una rigidez torsional apropiada.

A continuación se presenta la distribución cualitativa de los diagramas de momentos torsores de los nervios de la losa utilizada como ejemplo, independizando las barras orientadas en la dirección  $y$ , de las barras orientadas en la dirección  $x$ :

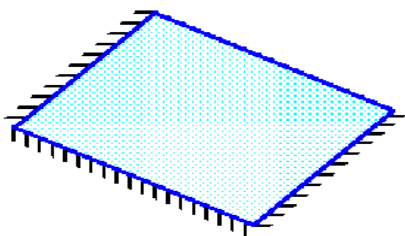
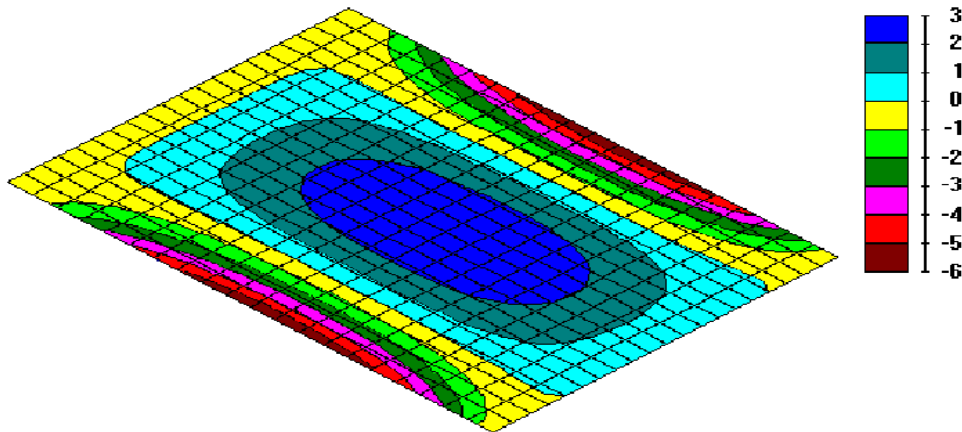




Si en lugar de utilizar el tercer modelo para losas nervadas, se empleara el tercer modelo para losas macizas, la geometría del perfil de momentos flectores alrededor del eje  $x$  sería:

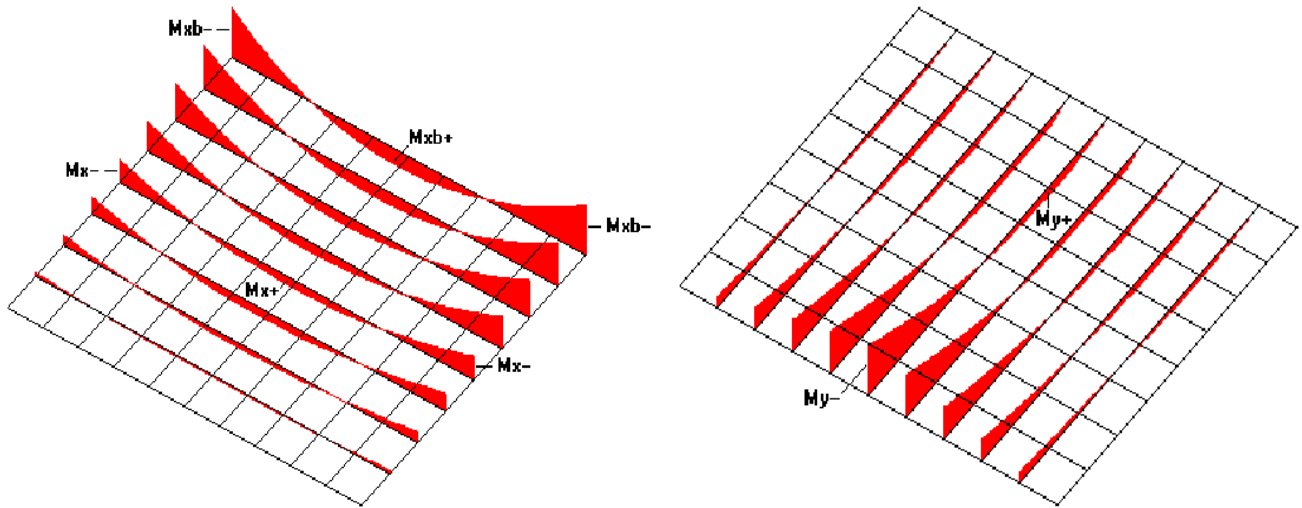


La geometría del perfil de momentos flectores alrededor del eje  $y$  sería:



Si se toma el décimo modelo de losa nervada (tiene un borde libre y los otros tres bordes empotrados), con una relación **lado corto / lado largo** de 0.80, la estructura idealizada sería:

La distribución cualitativa de los momentos flectores, en las 2 direcciones principales de la losa del ejemplo, para una carga uniformemente distribuida sobre toda la superficie sería similar a la siguiente:



Debe observarse que los momentos flectores entre bordes sustentados a la altura del borde libre son mucho más altos que los momentos flectores correspondientes en la zona central, lo que debe reflejarse en las tablas de diseño.

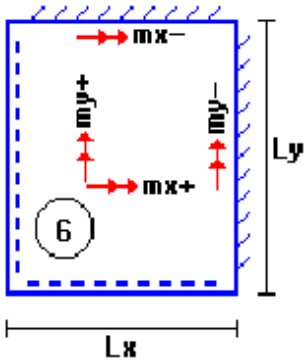
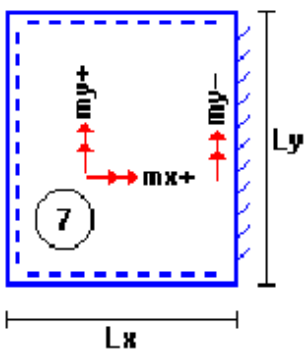
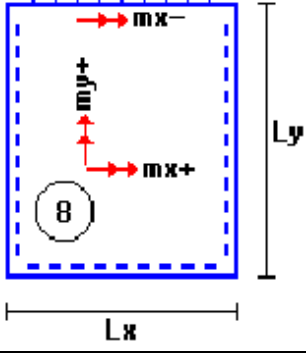
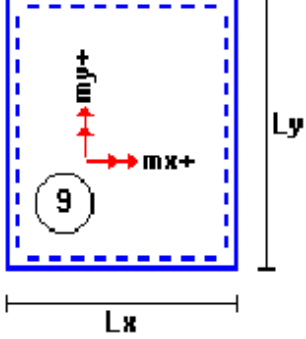
**TABLAS PARA DISEÑO DE LOSAS MACIZAS RECTANGULARES SUSTENTADAS PERIMETRALMENTE, SOMETIDAS A CARGAS DISTRIBUIDAS UNIFORMES (m = 0.20)**

LOSA	FÓRMULA	COE F.	LX / LY					
			1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	d m <sub>y-</sub> m <sub>y+</sub> m <sub>x-</sub> m <sub>x+</sub>	147	178	211	244	273	293
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	d m <sub>y-</sub> m <sub>y+</sub> m <sub>x-</sub> m <sub>x+</sub>	186	239	304	379	460	536



	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	$d$  $m_{y-}$  $m_{y+}$  $m_{x-}$  $m_{x+}$	186	213	241	266	286	298
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	$d$  $m_{y+}$  $m_{x-}$  $m_{x+}$	222	301	410	557	748	976
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	$d$  $m_{y-}$  $m_{y+}$  $m_{x+}$	222	243	264	281	294	301

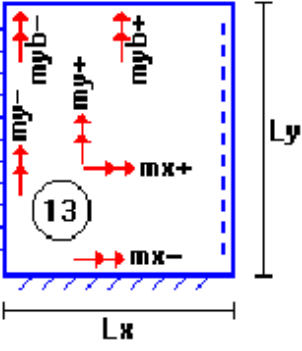
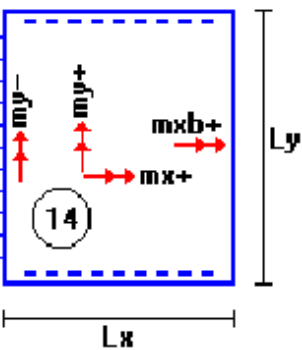
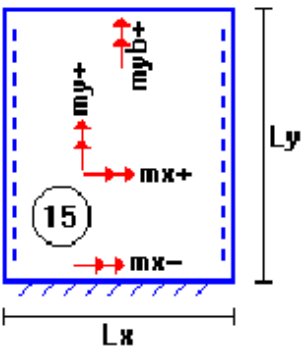
**TABLAS PARA DISEÑO DE LOSAS MACIZAS RECTANGULARES SUSTENTADAS PERIMETRALMENTE, SOMETIDAS A CARGAS DISTRIBUIDAS UNIFORMES (m = 0.20)**

LOSA	FÓRMULA	coef.	LX / LY					
			1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b>  <b>m<sub>y-</sub></b>  <b>m<sub>y+</sub></b>  <b>m<sub>x-</sub></b>  <b>m<sub>x+</sub></b>	254	309	371	438	504	561
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b>  <b>m<sub>y-</sub></b>  <b>m<sub>y+</sub></b>  <b>m<sub>x+</sub></b>	329	380	433	487	538	581
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b>  <b>m<sub>y+</sub></b>  <b>m<sub>x-</sub></b>  <b>m<sub>x+</sub></b>	329	424	546	698	879	1079
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b>  <b>m<sub>y+</sub></b>  <b>m<sub>x+</sub></b>	468	571	694	838	999	1167

	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$	<b>d</b>	324	487	757	1216	2018	3421
	$M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>y-</sub></b>	562	692	872	1130	1500	2060
	$M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>y+</sub></b>	143	170	202	237	269	281
	$M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>x-</sub></b>	696	805	936	1090	1260	1450
	$M_{xb-} = 0.0001 q \cdot m_{xb-} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>xb-</sub></b>	909	1120	1390	1750	2230	2810
	$M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>x+</sub></b>	330	377	429	483	531	531
	$M_{xb+} = 0.0001 q \cdot m_{xb+} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>xb+</sub></b>	434	524	635	767	910	1030

**TABLAS PARA DISEÑO DE LOSAS MACIZAS RECTANGULARES SUSTENTADAS PERIMETRALMENTE, SOMETIDAS A CARGAS DISTRIBUIDAS UNIFORMES (m = 0.20)**

LOSA	FÓRMULA	coef.	LX / LY					
			1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$	<b>d</b>	324	325	325	325	325	325
	$M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>y-</sub></b>	696	734	769	798	820	832
	$M_{yb-} = 0.0001 q \cdot m_{yb-} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>yb-</sub></b>	909	911	911	911	911	911
	$M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>y+</sub></b>	330	353	374	393	408	417
	$M_{yb+} = 0.0001 q \cdot m_{yb+} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>yb+</sub></b>	434	439	440	440	440	440
	$M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>x-</sub></b>	562	563	563	563	563	563
	$M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>x+</sub></b>	143	147	149	150	151	151
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$	<b>d</b>	617	895	1325	2002	3070	4725
	$M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>y-</sub></b>	795	973	1210	1540	1980	2570
	$M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>y+</sub></b>	196	227	260	292	309	295
	$M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>x-</sub></b>	898	1010	1150	1290	1430	1570
	$M_{xb} = 0.0001 q \cdot m_{xb} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>xb-</sub></b>	1310	1560	1890	2280	2740	3250
	$M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>m<sub>x+</sub></b>	459	508	556	596	612	612

		$M_{xb+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	$m_{xb+}$	661	769	889	1010	1110	1140
		$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$	$d$	617	640	657	667	672	672
		$M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$	$m_{y-}$	898	968	1040	1110	1160	1210
		$M_{yb-} = 0.0001 q \cdot m_{yb-} \cdot L_x^2$	$m_{yb-}$	1310	1330	1350	1360	1370	1370
		$M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$	$m_{y+}$	459	504	549	593	635	669
		$M_{yb+} = 0.0001 q \cdot m_{yb+} \cdot L_x^2$	$m_{yb+}$	661	689	711	725	732	734
		$M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$	$m_{x-}$	795	799	802	802	802	802
		$M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	$m_{x+}$	196	204	210	214	216	217
		$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$	$d$	1196	1639	2270	3170	4440	6188
		$M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$	$m_{y-}$	1170	1410	1700	2070	2530	3090
		$M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$	$m_{y+}$	269	298	324	337	337	337
		$M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	$m_{x+}$	605	640	661	661	661	661
		$M_{xb+} = 0.0001 q \cdot m_{xb+} \cdot L_x^2$	$m_{xb+}$	949	1050	1140	1210	1220	1220
		$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$	$d$	1196	1303	1404	1492	1561	1607
		$M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$	$m_{y+}$	605	692	785	884	985	1080
		$M_{yb+} = 0.0001 q \cdot m_{yb+} \cdot L_x^2$	$m_{yb+}$	949	1040	1120	1190	1250	1290
		$M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$	$m_{x-}$	1170	1200	1220	1230	1230	1230
		$M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	$m_{x+}$	269	290	310	323	332	336

**TABLAS PARA DISEÑO DE LOSAS MACIZAS RECTANGULARES SUSTENTADAS PERIMETRALMENTE, SOMETIDAS A CARGAS DISTRIBUIDAS UNIFORMES**

**(m = 0.20)**

LOSA	FÓRMULA	coef.	LX / LY					
			1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50
<p align="center">16</p>	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$ $M_{xb+} = 0.0001 q \cdot m_{xb+} \cdot L_x^2$	<b>d</b>  <b>m<sub>y+</sub></b>  <b>m<sub>x+</sub></b>  <b>m<sub>xb+</sub></b>	1372	1970	2911	4448	7076	----
<p align="center">17</p>	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{yb+} = 0.0001 q \cdot m_{yb+} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b>  <b>m<sub>y+</sub></b>  <b>m<sub>yb+</sub></b>  <b>m<sub>x+</sub></b>	1372	1439	1501	1553	1594	1620
<p align="center">18</p>	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{yb-} = 0.0001 q \cdot m_{yb-} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{xb-} = 0.0001 q \cdot m_{xb-} \cdot L_x^2$	<b>d</b>  <b>m<sub>y-</sub></b>  <b>m<sub>yb-</sub></b>  <b>m<sub>x-</sub></b>  <b>m<sub>xb-</sub></b>	4697	5733	6973	8415	----	----

**Simbología:**

- d** : valor adimensional para determinar la deflexión máxima en la losa
- D** : deflexión máxima en la losa
- Lx** : longitud más corta de la losa rectangular
- Ly** : longitud más larga de la losa rectangular
- E** : módulo de elasticidad del concreto
- h** : espesor de la losa maciza

$q$  : carga uniformemente distribuida por unidad de superficie de losa

$m_{y-}$  : valor adimensional para calcular momento flector negativo máximo alrededor del eje  $y$

$m_{yb-}$  : valor adimensional para calcular momento flector negativo máximo de borde libre alrededor del eje  $y$

$m_{y+}$  : valor adimensional para calcular momento flector positivo máximo de tramo alrededor del eje  $y$

$m_{yb+}$  : valor adimensional para calcular momento flector positivo máximo de borde libre alrededor del eje  $y$

$m_{x-}$  : valor adimensional para calcular momento flector negativo máximo alrededor del eje  $x$

$m_{xb-}$  : valor adimensional para calcular momento flector negativo máximo de borde libre alrededor del eje  $x$

$m_{x+}$  : valor adimensional para calcular momento flector positivo máximo de tramo alrededor del eje  $x$

$m_{xb+}$  : valor adimensional para calcular momento flector positivo máximo de borde libre alrededor del eje  $x$

$M_{y-}$  : momento flector negativo máximo alrededor del eje  $y$ , por metro de ancho de losa

$M_{yb-}$  : momento flector negativo máximo de borde libre alrededor del eje  $y$ , por metro de ancho de losa

$M_{y+}$  : momento flector positivo máximo alrededor del eje  $y$ , por metro de ancho de losa

$M_{yb+}$  : momento flector positivo máximo de borde libre alrededor del eje  $y$ , por metro de ancho de losa

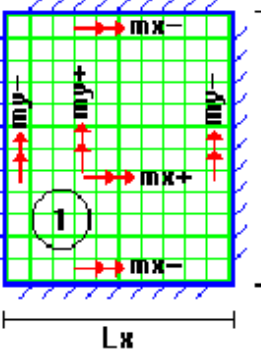
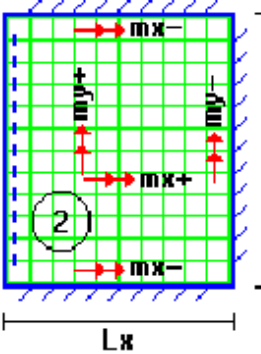
$M_{x-}$  : momento flector negativo máximo alrededor del eje  $x$ , por metro de ancho de losa

$M_{xb-}$  : momento flector negativo máximo de borde libre alrededor del eje  $x$ , por metro de ancho de losa

$M_{x+}$  : momento flector positivo máximo alrededor del eje  $x$ , por metro de ancho de losa

$M_{xb+}$  : momento flector positivo máximo de borde libre alrededor del eje  $x$ , por metro de ancho de losa

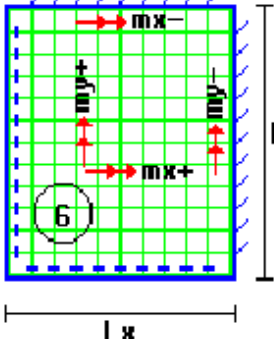
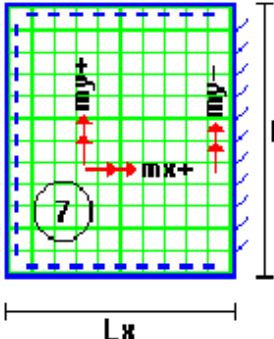
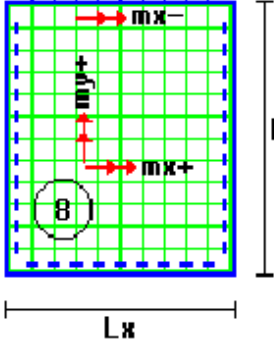
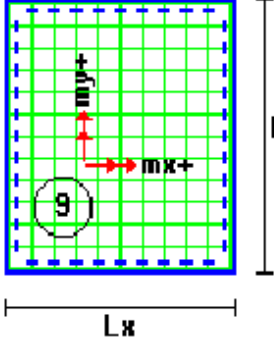
**TABLAS PARA DISEÑO DE LOSAS NERVADAS RECTANGULARES SUSTENTADAS PERIMETRALMENTE, SOMETIDAS A CARGAS DISTRIBUIDAS UNIFORMES**

LOSA	FÓRMULA	coef.	LX / LY					
			1.0 0	0.9	0.80	0.70	0.60	0.50
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	$d$  $m_{y-}$ $m_{y+}$ $m_{x-}$ $m_{x+}$	200	241	281	315	336	339
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	$d$  $m_{y-}$ $m_{y+}$ $m_{x-}$ $m_{x+}$	265	347	443	545	635	691

	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b> <b>m<sub>y-</sub></b> <b>m<sub>y+</sub></b> <b>m<sub>x-</sub></b> <b>m<sub>x+</sub></b>	265 718 354 597 269	297 790 401 586 240	322 850 439 568 205	339 888 464 548 185	345 902 473 532 167	339 888 464 520 177
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b> <b>m<sub>y+</sub></b> <b>m<sub>x-</sub></b> <b>m<sub>x+</sub></b>	323 231 853 440	456 340 985 498	644 496 1119 547	894 705 1232 566	1191 952 1288 525	1479 1191 1268 400
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b> <b>m<sub>y-</sub></b> <b>m<sub>y+</sub></b> <b>m<sub>x+</sub></b>	323 853 440 231	340 891 465 199	351 914 481 183	354 921 485 174	348 909 477 165	335 878 458 178



**TABLAS PARA DISEÑO DE LOSAS NERVADAS RECTANGULARES SUSTENTADAS PERIMETRALMENTE, SOMETIDAS A CARGAS DISTRIBUIDAS UNIFORMES**

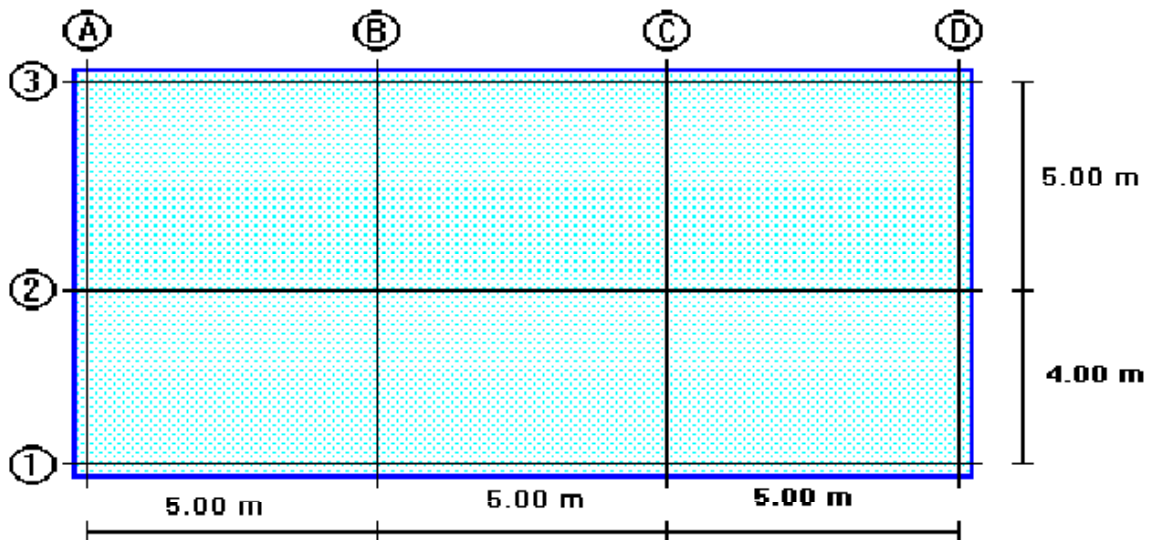
LOSA	FÓRMULA	coef.	LX / LY					
			1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b>  <b>m<sub>y-</sub></b>  <b>m<sub>y+</sub></b>  <b>m<sub>x-</sub></b>  <b>m<sub>x+</sub></b>	406	489	572	644	693	712
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y-} = 0.0001 q \cdot m_{y-} \cdot L_x^2$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b>  <b>m<sub>y-</sub></b>  <b>m<sub>y+</sub></b>  <b>m<sub>x+</sub></b>	569	630	681	715	729	718
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x-} = 0.0001 q \cdot m_{x-} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b>  <b>m<sub>y+</sub></b>  <b>m<sub>x-</sub></b>  <b>m<sub>x+</sub></b>	569	754	979	1230	1469	1644
	$D = 0.0001 d \cdot L_x^2 / (E \cdot h^3)$ $M_{y+} = 0.0001 q \cdot m_{y+} \cdot L_x^2$ $M_{x+} = 0.0001 q \cdot m_{x+} \cdot L_x^2$	<b>d</b>  <b>m<sub>y+</sub></b>  <b>m<sub>x+</sub></b>	969	1170	1371	1550	1684	1749

**Simbología:**

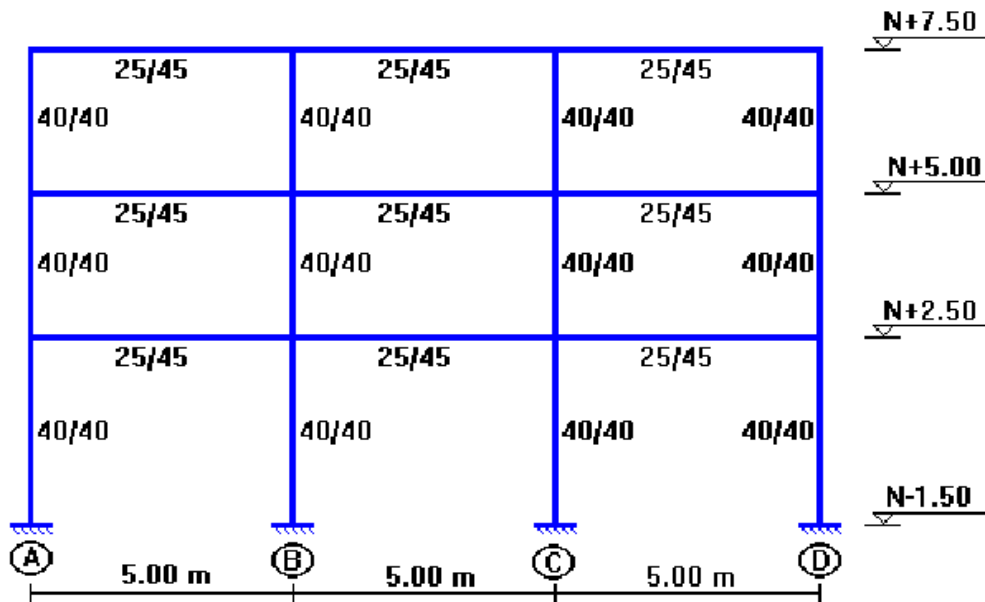
- d** : valor adimensional para determinar la deflexión máxima en la losa  
**D** : deflexión máxima en la losa  
**L<sub>x</sub>** : longitud más corta de la losa rectangular  
**L<sub>y</sub>** : longitud más larga de la losa rectangular  
**E** : módulo de elasticidad del concreto  
**h** : espesor de la losa maciza  
**q** : carga uniformemente distribuida por unidad de superficie de losa  
**m<sub>y-</sub>** : valor adimensional para calcular momento flector negativo máximo alrededor del eje y  
**m<sub>yb-</sub>** : valor adimensional para calcular momento flector negativo máximo de borde libre alrededor del eje y  
**m<sub>y+</sub>** : valor adimensional para calcular momento flector positivo máximo de tramo alrededor del eje y  
**m<sub>yb+</sub>** : valor adimensional para calcular momento flector positivo máximo de borde libre alrededor del eje y  
**m<sub>x-</sub>** : valor adimensional para calcular momento flector negativo máximo alrededor del eje x  
**m<sub>xb-</sub>** : valor adimensional para calcular momento flector negativo máximo de borde libre alrededor del eje x  
**m<sub>x+</sub>** : valor adimensional para calcular momento flector positivo máximo de tramo alrededor del eje x  
**m<sub>xb+</sub>** : valor adimensional para calcular momento flector positivo máximo de borde libre alrededor del eje x  
**M<sub>y-</sub>** : momento flector negativo máximo alrededor del eje y, por metro de ancho de losa  
**M<sub>yb-</sub>** : momento flector negativo máximo de borde libre alrededor del eje y, por metro de ancho de losa  
**M<sub>y+</sub>** : momento flector positivo máximo alrededor del eje y, por metro de ancho de losa  
**M<sub>yb+</sub>** : momento flector positivo máximo de borde libre alrededor del eje y, por metro de ancho de losa  
**M<sub>x-</sub>** : momento flector negativo máximo alrededor del eje x, por metro de ancho de losa  
**M<sub>xb-</sub>** : momento flector negativo máximo de borde libre alrededor del eje x, por metro de ancho de losa  
**M<sub>x+</sub>** : momento flector positivo máximo alrededor del eje x, por metro de ancho de losa  
**M<sub>xb+</sub>** : momento flector positivo máximo de borde libre alrededor del eje x, por metro de ancho de losa

**EJEMPLO 1.2:**

Diseñar las losas del edificio, cuya planta tipo se presenta a continuación, el mismo que será utilizado para oficinas. El concreto empleado en la estructura tiene una resistencia  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , y el esfuerzo de fluencia del acero es  $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ . El módulo de escaleras es independiente del bloque que se desea diseñar en este ejemplo.

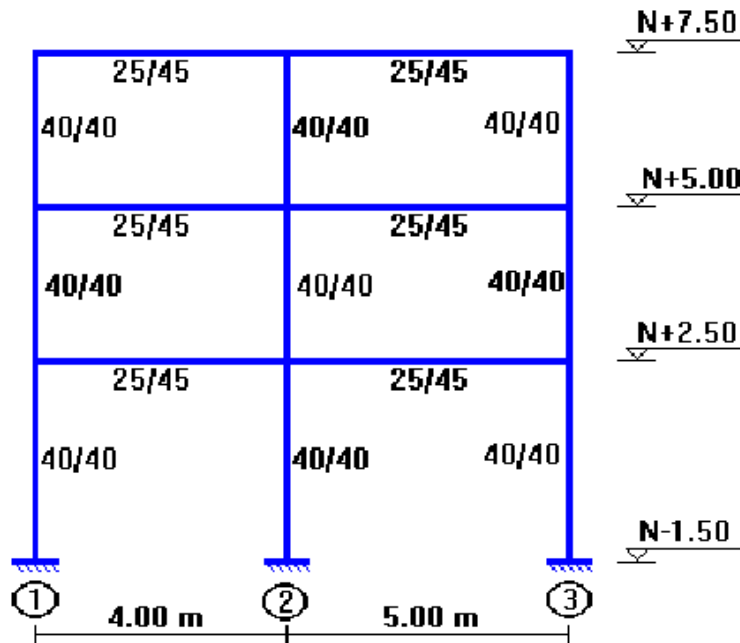


Los pórticos 1, 2 y 3 del edificio, vistos en elevación, tienen la siguiente geometría:

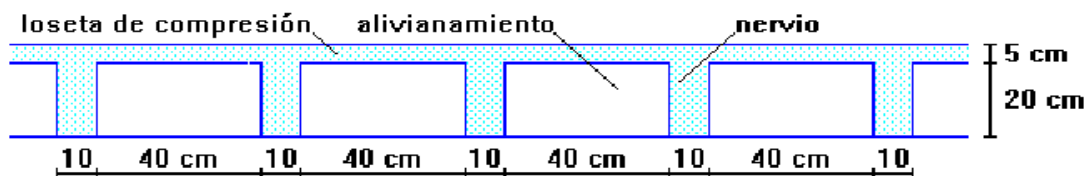


La losa del nivel +7.50 se considera inaccesible, por lo que está sometida a una carga viva menor de 150 Kg/m<sup>2</sup>.

Los pórticos A, B, C y D del edificio, vistos en elevación, tienen la siguiente geometría:

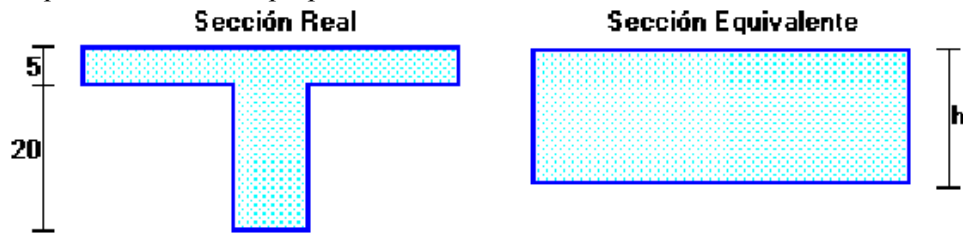


Se selecciona un espesor tentativo de losa de 25 cm, para las tres plantas, con loseta de compresión de 5 cm., nervios de 10 cm de espesor y alivianamientos de bloque de concreto de 40 cm x 40 cm, de 20 cm de altura ( 2 bloques de 40 x 20 x 20 por cada alivianamiento), lo que es tradicional en nuestro medio.



### Control de Deflexiones:

El peralte equivalente de la losa nervada se calcula determinando la altura de una losa maciza que tenga la misma inercia que la losa nervada propuesta.



Se calcula el área de la viga T (1 nervio de la losa):

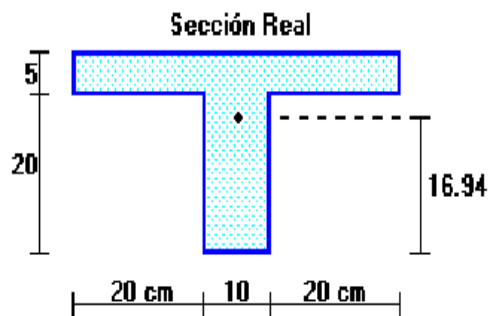
$$A = (5 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}) + (20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}) = 450 \text{ cm}^2$$

Se calcula el momento que produce la viga T con respecto a su base:

$$M = [(5 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}) \times 22.5 \text{ cm}] + [(20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}) \times 10 \text{ cm}] = 7625 \text{ cm}^3$$

Se calcula la posición del centro de gravedad de la viga T con relación a la base del alma:

$$y_G = \frac{M}{A} = \frac{7625 \text{ cm}^3}{450 \text{ cm}^2} = 16.94 \text{ cm}$$



Se calcula la inercia de la viga T con relación a su centro de gravedad:

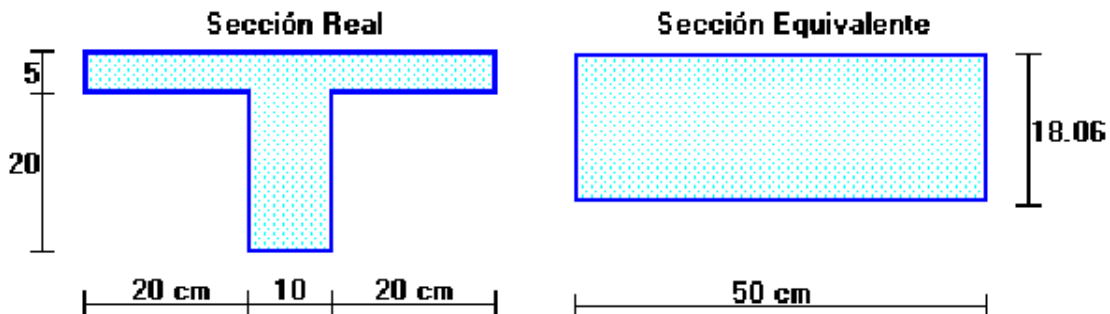
$$I = \frac{(50)(5)^3}{12} + [(50)(5)](22.5 - 16.94)^2 + \frac{(10)(20)^3}{12} + [(10)(20)](16.94 - 10)^2$$

$$I = 520.8333 + 7728.4 + 6666.6667 + 9632.72$$

$$I = 24548.62 \text{ cm}^4$$

La inercia de la viga de altura constante deber ser la misma que la inercia de la viga T:

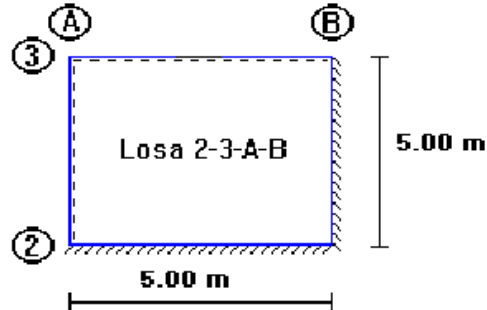
$$\frac{50h^3}{12} = 24548.62 \text{ cm}^4 \quad h_{\text{equivalente}} = 18.06 \text{ cm}$$



La ecuación básica, que define el peralte mínimo equivalente de la losa nervada es:

$$h_{\min} = \frac{L_n(800 + 0.0712F_y)}{36000 + 5000\beta \left\{ \alpha_m - 0.5(1 - \beta_s) \left[ 1 + \frac{1}{\beta} \right] \right\}}$$

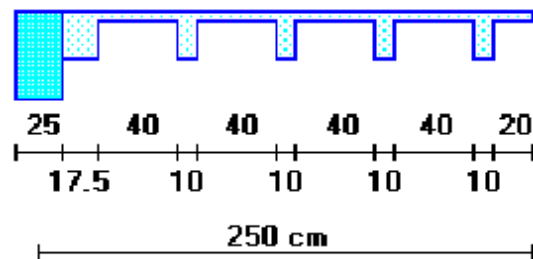
Se toma el panel **2-3-A-B**, que es crítico para las deformaciones por tener las mayores luces (5 metros en las dos direcciones), y al mismo tiempo el menor número de lados con continuidad (dos de los cuatro lados son continuos):



$$L_n = 500 \text{ cm} - 25 \text{ cm} = 475 \text{ cm} \quad F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

Se calculan los valores  $\alpha$  para los cuatro bordes de la losa:

Ejes A y 3:



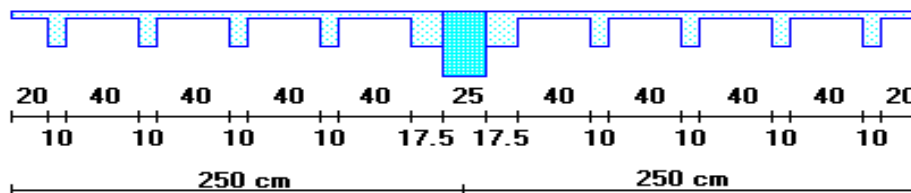
$$E_{\text{viga}} \cdot I_{\text{viga}} = (25)(40)^3 / 12 = 133333 \text{ cm}^4$$

$$E_{\text{losa}} \cdot I_{\text{losa}} = (250 - 12.5)(18.06)^3 / 12 = 116583 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = \frac{E_{\text{viga}} \cdot I_{\text{viga}}}{E_{\text{losa}} \cdot I_{\text{losa}}}$$

$$\alpha_A = \alpha_3 = 133333 / 116583 = 1.144$$

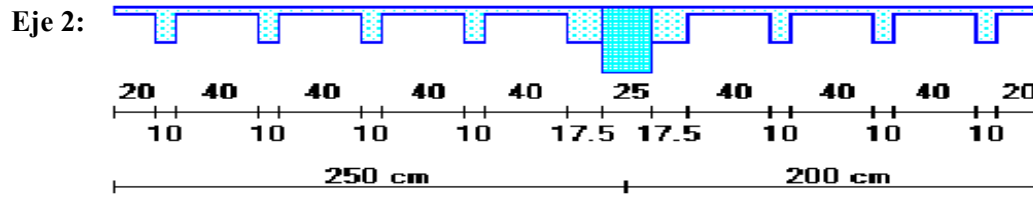
Eje B:



$$E_{\text{viga}} \cdot I_{\text{viga}} = (25)(40)^3 / 12 = 133333 \text{ cm}^4$$

$$E_{\text{losa}} \cdot I_{\text{losa}} = (500 - 25)(18.06)^3 / 12 = 233166 \text{ cm}^4$$

$$a_B = 133333 / 233166 = 0.572$$



$$E_{\text{viga}}.I_{\text{viga}} = (25)(40)^3 / 12 = 133333 \text{ cm}^4$$

$$E_{\text{losa}}.I_{\text{losa}} = (450 - 25)(18.06)^3 / 12 = 208622 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_2 = 133333 / 208622 = 0.639$$

Se calcula el valor de  $\alpha_m$  :

$$\alpha_m = (\alpha_A + \alpha_B + \alpha_2 + \alpha_3) / 4 \quad \alpha_m = (1.144 + 0.572 + 0.639 + 1.144) / 4 = 0.875$$

Se calcula el coeficiente  $\beta$  :

$$\beta = 475 / 475 = 1.00$$

Se calcula el coeficiente  $\beta_s$  :

$$\beta_s = (5.00 + 5.00) / (5.00 + 5.00 + 5.00 + 5.00) \quad \beta_s = 0.50$$

Se calcula el valor de  $h_{\min}$  :

$$h_{\min} = \frac{L_n(800 + 0.0712F_y)}{36000 + 5000\beta \left\{ \alpha_m - 0.5(1 - \beta_s) \left[ 1 + \frac{1}{\beta} \right] \right\}} \quad h_{\min} = \frac{(475)[800 + 0.0712(4200)]}{36000 + 5000(1.00) \left\{ 0.875 - 0.5(1 - 0.50) \left[ 1 + \frac{1}{1.00} \right] \right\}}$$

$$h_{\min} = 13.78 \text{ cm}$$

Se verifica el menor valor que puede tener  $h_{\min}$  :

$$h_{\min} \geq \frac{L_n(800 + 0.0712F_y)}{36000 + 5000\beta(1 + \beta_s)} \quad h_{\min} \geq \frac{475[800 + 0.0712(4200)]}{36000 + 5000(1.00)(1 + 0.50)}$$

$$h_{\min} \geq 12.00 \text{ cm}$$

$$13.78 \text{ cm} \geq 12.00 \text{ cm} \text{ P } h_{\min} = 13.78 \text{ cm}$$

Se verifica el mayor valor que requiere tener  $h_{\min}$  :

$$h_{\min} \leq \frac{L_n(800 + 0.0712F_y)}{36000} \quad h_{\min} \leq \frac{475[800 + 0.0712(4200)]}{36000}$$

$$h_{\min} \leq 14.50 \text{ cm}$$

$$13.78 \text{ cm} \leq 14.50 \text{ cm} \Rightarrow h_{\min} = 13.78 \text{ cm}$$

Se verifica que la altura equivalente de la losa nervada propuesta supere la altura mínima fijada por el código:

$$h_{\text{equivalente}} = 18.06 \text{ cm} > 13.78 \text{ cm} \text{ (OK)}$$

#### Determinación de las Cargas de Diseño en losas niveles +2.50 y +5.00:

$$\text{Peso loseta de compresión} = 1.00 \times 1.00 \times 0.05 \times 2400 = 120 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Peso nervios} = 4 \times 0.10 \times 0.20 \times 1.00 \times 2400 = 192 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Alivianamientos} = 8 \times 12 = 96 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Peso Propio de la losa} = 408 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Enlucido y masillado} = 1.00 \times 1.00 \times 0.04 \times 2200 = 88 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Recubrimiento de piso} = 1.00 \times 1.00 \times 0.02 \times 2200 = 44 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Mampostería} = 200 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Carga Permanente} = 740 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Carga Viva} = 250 \text{ Kg/m}^2$$

#### Carga de Diseño

$$U = 1.4 D + 1.7 L = 1.4 (740) + 1.7 (250) = 1461 \text{ Kg/m}^2$$

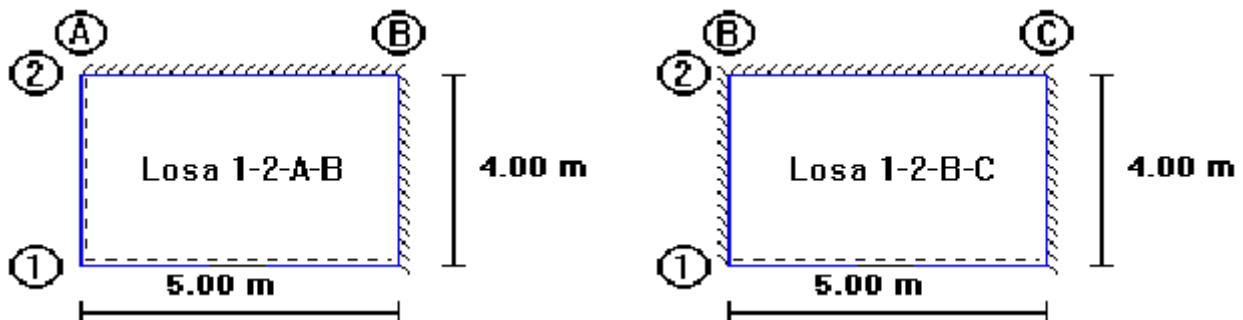
#### Determinación de las Cargas de Diseño en Losa Nivel +7.50

$$D = 540 \text{ Kg/m}^2 \text{ (excluida la mampostería)}$$

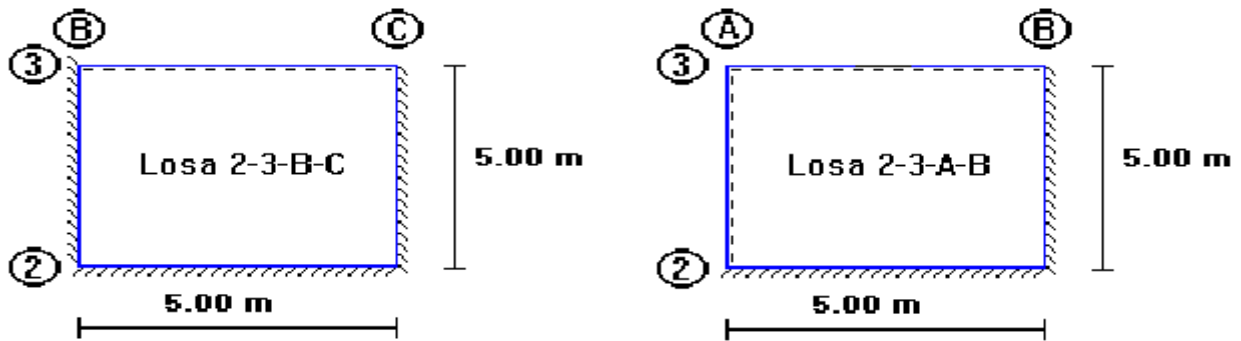
$$L = 150 \text{ Kg/m}^2 \text{ (losa inaccesible de cubierta)}$$

$$U = 1.4 D + 1.7 L = 1.4 (540) + 1.7 (150) = 1011 \text{ Kg/m}^2$$

#### Modelos Estructurales de Losas para el Diseño a Flexión







Los coeficientes para diseño de la losa **1-2-A-B** se obtienen del modelo **6** de las tablas para losas nervadas, considerando que la dirección más corta está en el sentido **y**, lo que significa que se deben intercambiar los valores tabulados de  $m_x$  y  $m_y$ .

Los coeficientes para diseño de la losa **1-2-B-C** se obtienen del modelo **2** de las tablas para losas nervadas, considerando que la dirección más corta está en el sentido **y**, lo que significa que se deben intercambiar los valores tabulados de  $m_x$  y  $m_y$ .

Los coeficientes para diseño de la losa **2-3-A-B** se obtienen del modelo **6** de las tablas para losas nervadas.

Los coeficientes para diseño de la losa **2-3-B-C** se obtienen del modelo **2** de las tablas para losas nervadas, considerando un intercambio entre los ejes **x**, y de la tabla, por la posición de los ejes en la losa.

### Determinación de Momentos Flectores de Diseño y Cálculo de la Armadura Requerida

#### TABLAS PARA EL DISEÑO DE LOSAS NIVELES +2.50, +5.00

$$q = 1461 \text{ Kg/m}^2$$

$$M = 0.0001 \text{ m} \cdot q \cdot L_x^2$$

LOSA	LOSA TIPO	LX	LY	LX/LY	MY (-)	MY (+)	MX (-)	MX (+)	MUY(-) KG-M/M	MUY(+) KG-M/M	MUX(-) KG-M/M	MUX(+) KG-M/M
1-2-A-B	6	4	5	0.80	852	369	1120	621	1992	863	2618	1452
1-2-B-C	2	4	5	0.80	819	359	899	473	1914	839	2102	1106
2-3-A-B	6	5	5	1.00	839	428	839	428	3064	1563	3064	1563
2-3-B-C	2	5	5	1.00	718	354	597	269	2622	1293	2181	983

LOSA	MUY(-)	MUY(+)	MUX(-)	MUX(+)	ASY(-)	ASY(+)	ASX(-)	AS(+)
	Kg-m/m	Kg-m/m	Kg-m/m	Kg-m/m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m
1-2-A-B	1992	863	2618	1452	2.74	1.11	3.70	1.87
1-2-B-C	1914	839	2102	1106	2.62	1.07	2.90	1.42
2-3-A-B	3064	1563	3064	1563	4.42	2.01	4.42	2.01
2-3-B-C	2622	1293	2181	983	3.71	1.66	3.02	1.26

### TABLAS PARA EL DISEÑO DE LOSA NIVEL +7.50

$$q = 1011 \text{ Kg/m}^2$$

$$M = 0.0001 \text{ m} \cdot q \cdot L_x^2$$

LOSA	LOSA	LX	LY	LX/LY	MY	MY	MX	MX	MUY(-)	MUY(+)	MUX(-)	MUX(+)
	Tipo				(-)	(+)	(-)	(+)	Kg-m/m	Kg-m/m	Kg-m/m	Kg-m/m
1-2-A-B	6	4	5	0.80	852	369	1120	621	1378	597	1812	1005
1-2-B-C	2	4	5	0.80	819	359	899	473	1325	581	1454	765
2-3-A-B	6	5	5	1.00	839	428	839	428	2121	1082	2121	1082
2-3-B-C	2	5	5	1.00	718	354	597	269	1815	895	1509	680

LOSA	MUY(-)	MUY(+)	MUX(-)	MUX(+)	ASY(-)	ASY(+)	ASX(-)	ASX(+)
	Kg-m/m	Kg-m/m	Kg-m/m	Kg-m/m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m
1-2-A-B	1378	597	1812	1005	1.85	0.76	2.47	1.29
2-B-C	1325	581	1454	765	1.77	0.74	1.95	0.98
2-3-A-B	2121	1082	2121	1082	2.93	1.39	2.93	1.39
2-3-B-C	1815	895	1509	680	2.47	1.15	2.03	0.87

Los ejes x - y de las tablas de diseño de losas sustentadas perimetralmente, no deben coincidir necesariamente con los ejes x - y del proyecto, pues de acuerdo a las convenciones empleadas, la dirección x en las tablas es la de menor dimensión de la losa.

La armadura mínima requerida en losas alivianadas es:

$$\rho_{\min} = \frac{14}{F_y}$$

$$\rho_{\min} = 0.00333$$

$$A_{s_{\min}} = 0.00333 (20 \times 22) = 1.47 \text{ cm}^2/\text{m}$$

A continuación se presentan las tablas de armado modificadas tomando en consideración la armadura mínima requerida.

#### ARMADURA REQUERIDA EN LOSAS NIVELES +2.50, +5.00

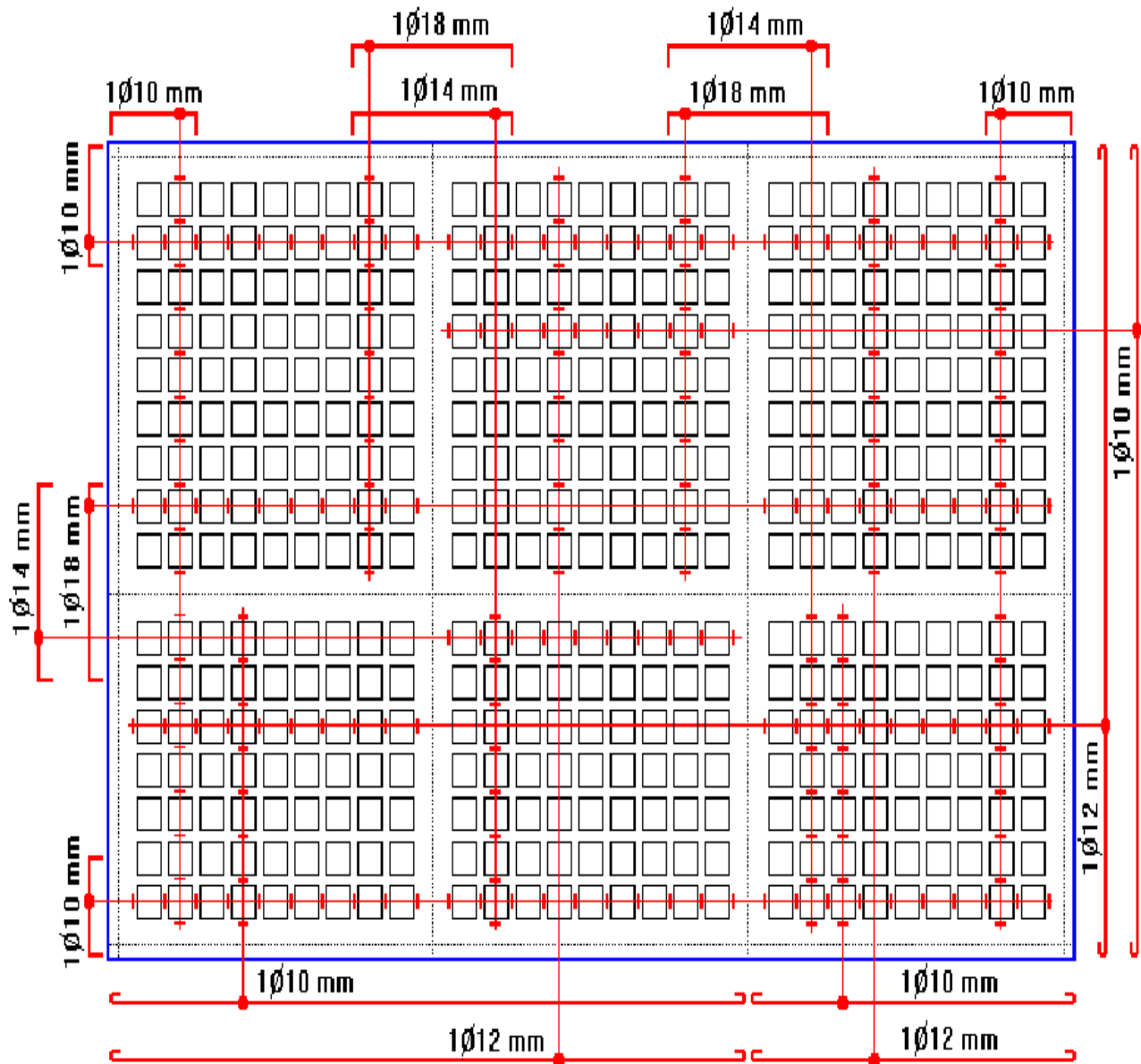
LOSA	ASY(-)	ASY(+)	ASX(-)	ASX(+)	ASY(-)	ASY(+)	ASX(-)	ASX(+)
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /nervio	cm <sup>2</sup> /nervio	cm <sup>2</sup> /nervio	cm <sup>2</sup> /nervio
1-2-A-B	2.74	*1.47	3.70	1.87	1.37 = 1 Φ 14 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm	1.85 = 1 Φ 16 mm	0.94 = 1 Φ 12 mm
1-2-B-C	2.62	*1.47	2.90	*1.47	1.31 = 1 Φ 14 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm	1.45 = 1 Φ 14 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm
2-3-A-B	4.42	2.01	4.42	2.01	2.21 = 1 Φ 18 mm	1.01 = 1 Φ 12 mm	2.21 = 1 Φ 18 mm	1.01 = 1 Φ 12 mm
2-3-B-C	3.71	1.66	3.02	*1.47	1.86 = 1 Φ 16 mm	0.83 = 1 Φ 12 mm	1.51 = 1 Φ 14 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm

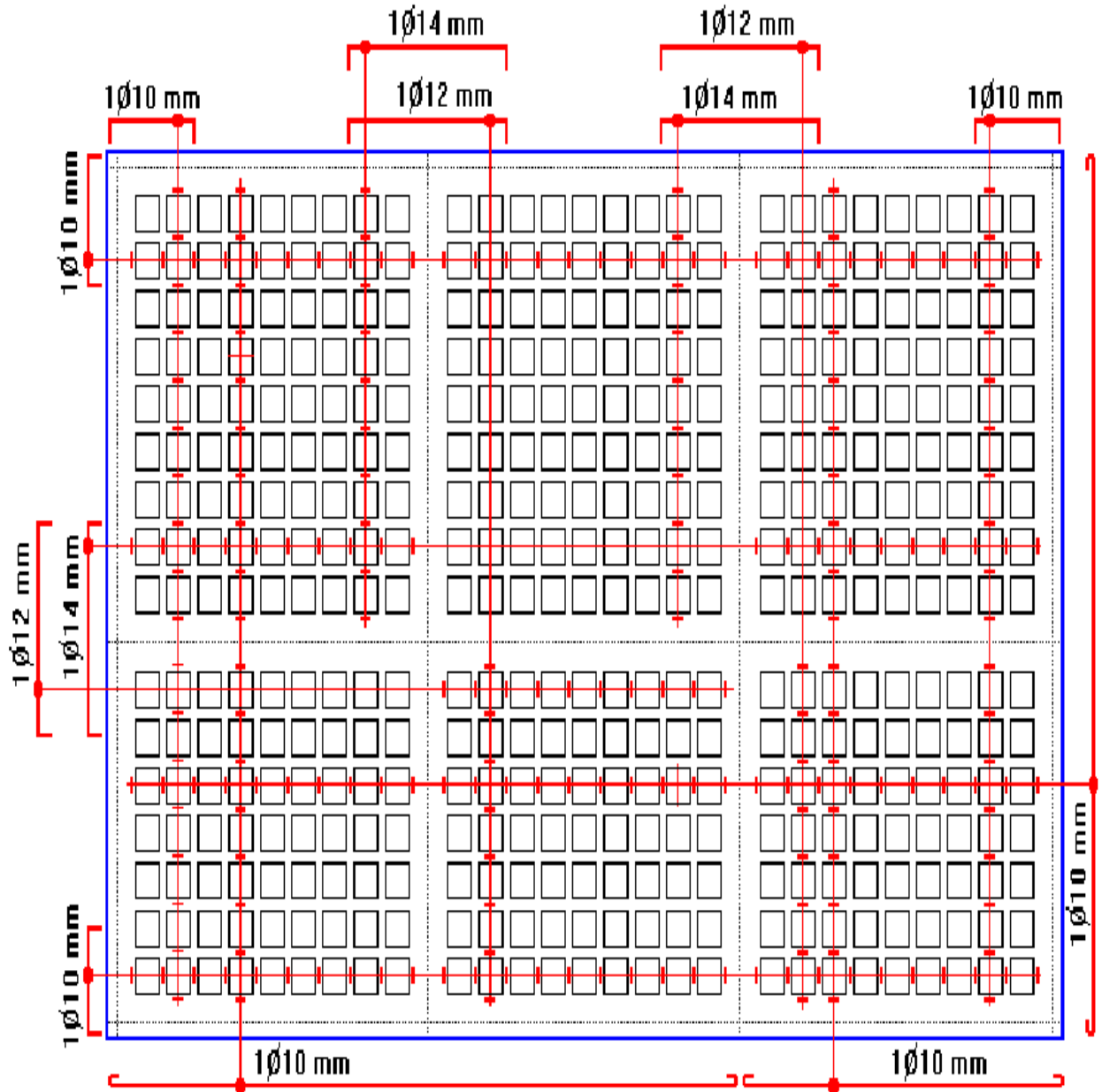
#### ARMADURA REQUERIDA EN LOSA NIVEL +7.50

LOSA	ASY(-)	ASY(+)	ASX(-)	ASX(+)	ASY(-)	ASY(+)	ASX(-)	ASX(+)
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /nervio	cm <sup>2</sup> /nervio	cm <sup>2</sup> /nervio	cm <sup>2</sup> /nervio
1-2-A-B	1.85	*1.47	2.47	*1.47	0.93 = 1 Φ 12 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm	1.24 = 1 Φ 14 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm
1-2-B-C	1.77	*1.47	1.95	*1.47	0.89 = 1 Φ 12 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm	0.98 = 1 Φ 12 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm
2-3-A-B	2.93	*1.47	2.93	*1.47	1.47 = 1 Φ 14 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm	1.47 = 1 Φ 14 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm
2-3-B-C	2.47	*1.47	2.03	*1.47	1.24 = 1 Φ 14 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm	1.02 = 1 Φ 12 mm	*0.74 = 1 Φ 10 mm

A continuación se presenta un armado tipo de las losas del edificio, que se ajusta a las tablas anteriores.

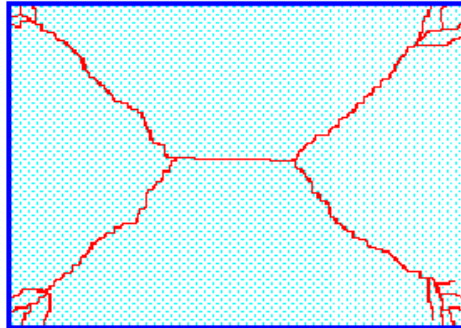
**ARMADURA EN LOSAS NIVELES +2.50, +5.00**



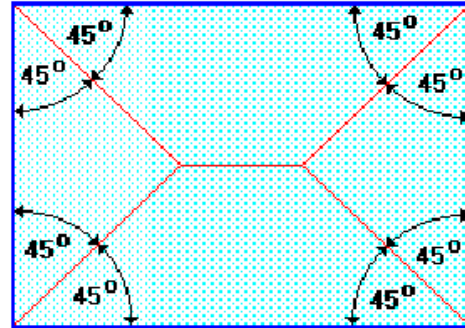
**ARMADURA EN LOSA NIVEL +7.50**

### Verificación de la Resistencia a Cortante:

De acuerdo con la experimentación en que se basa la **Teoría de las Líneas de Rotura**, cuando una losa rectangular, sustentada en todo su perímetro sobre vigas de mayor peralte y sometida a una carga uniformemente distribuida que actúa en toda su superficie, se encuentra al borde del colapso, se fisura conformando triángulos y trapecios.

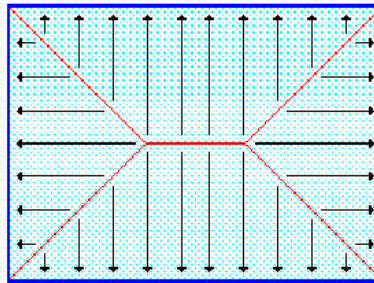


**Modelo Real de Fisuración**



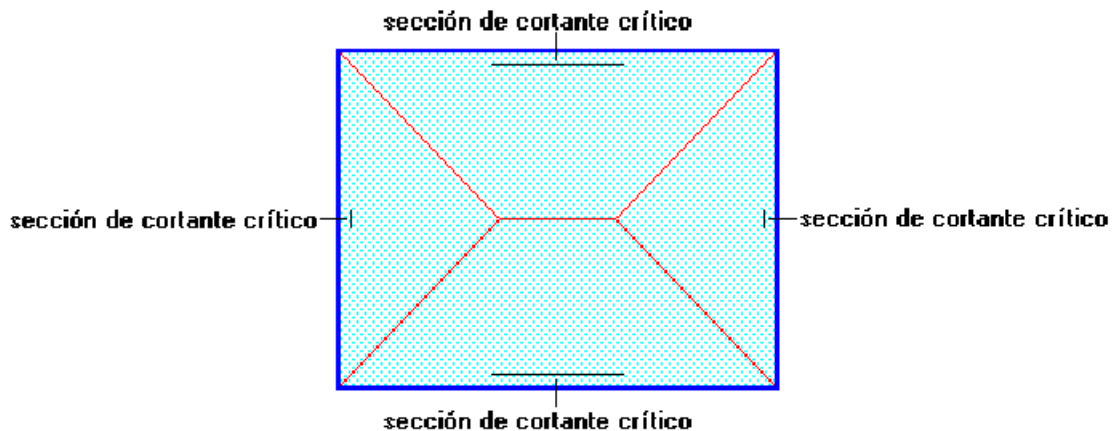
**Modelo Idealizado de Fisuración**

Bajo este estado límite, las fuerzas cortantes que generan las cargas que actúan en los triángulos y trapecios se transmiten directamente a las vigas en las que se sustentan los respectivos triángulos y trapecios.

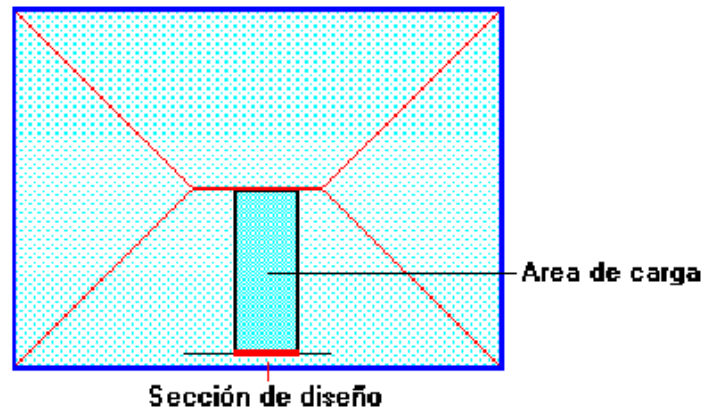


Las losas deben estar en capacidad de resistir las fuerzas cortantes generadas por este tipo de comportamiento.

Las secciones críticas de las losas, para el diseño a cortante, se ubican en los sectores de ordenada máxima de los triángulos y trapecios, próximos a las vigas de apoyo.



Las cargas que solicitan las secciones de cortante crítico son aquellas que actúan sobre zonas ortogonales limitadas por la línea de cortante crítico y la línea de fisuración intermedia de la losa.

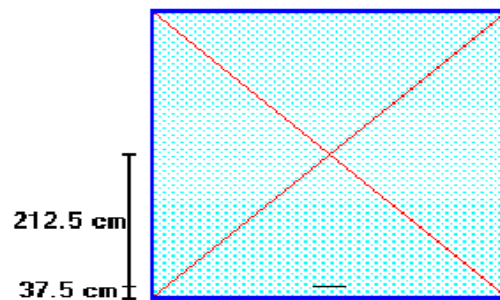


### Verificación a Cortante de las Losas de 5.00 m x 5.00 m de los Niveles +2.50 y +5.00:

Se toma la sección de diseño con ancho unitario (un metro de ancho). La carga última superficial es:

$$q_U = 1461 \text{ Kg/m}^2$$

La sección de diseño está ubicada a 25 cm de la cara de la viga; la cara de la viga está ubicada a 12.5 cm del eje de la viga, por lo que la sección de diseño se ubica a 37.5 cm del eje de la viga.



La fuerza cortante que actúa sobre un metro de ancho de la zona crítica a cortante es:

$$V_u = 1.00 \text{ m} \times 2.125 \text{ m} \times 1475 \text{ Kg/m}^2 \quad V_u = 3134 \text{ Kg}$$

En un metro de losa se dispone de dos nervios de 10 cm de ancho (ancho total = 20 cm), por lo que el esfuerzo cortante último es:

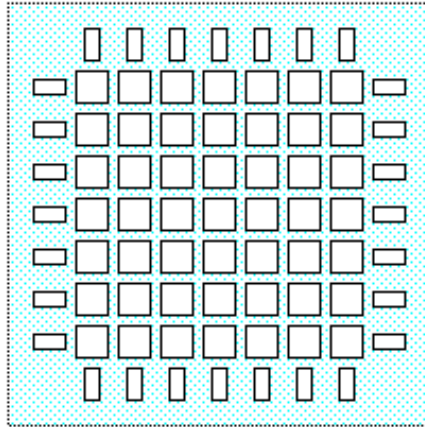
$$v_u = \frac{V_u}{\phi \cdot b \cdot d} \quad v_u = \frac{3134 \text{ Kg}}{(0.85)(20 \text{ cm})(22 \text{ cm})}$$

$$v_u = 8.38 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo cortante que puede soportar el concreto es:

$$v_c = 0.5\sqrt{f'_c} = 0.5\sqrt{210} \quad v_c = 7.25 \text{ Kg/cm}^2$$

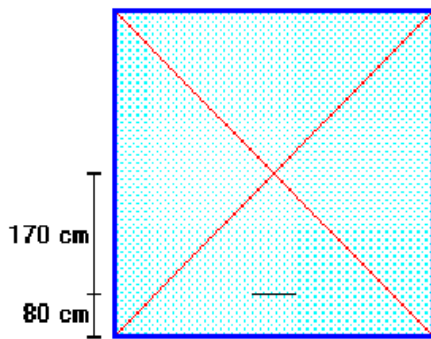
La sección transversal no es suficiente para resistir las fuerzas cortantes. Como solución se puede incrementar el ancho de los nervios en la fila perimetral de alivianamientos, colocando un solo bloque de 20 cm x 40 cm x 20 cm en cada alivianamiento.



El ancho efectivo de los nervios se incrementa de 20 cm a 60 cm con lo que la capacidad resistente se triplica. El incremento de peso es mínimo, por lo que no es necesario realizar un recálculo de cargas.

$$v_u = \frac{3134 \text{ Kg}}{0.85(60 \text{ cm})(22 \text{ cm})} \quad v_u = 2.79 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (O.K.)}$$

Una segunda zona crítica a cortante se produce a 80 cm del eje de las vigas, donde los nervios siguen manteniendo los 10 cm de ancho (20 cm de ancho por metro).



La fuerza cortante que actúa sobre un metro de ancho de la segunda zona crítica a cortante es:

$$V_u = 1.00 \text{ m} \times 1.70 \text{ m} \times 1475 \text{ Kg/m}^2$$

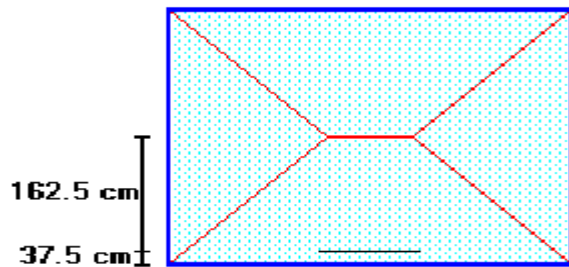
$$V_u = 2508 \text{ Kg}$$

El esfuerzo cortante último es: 
$$v_u = \frac{2508 \text{ Kg}}{0.85(20 \text{ cm})(22 \text{ cm})}$$

$$v_u = 6.71 \text{ Kg/cm}^2 \quad v_u < v_c \text{ (O.K.)}$$

El esfuerzo cortante último es inferior a la capacidad resistente del concreto por lo que no se requiere de ningún cambio adicional en las dimensiones de los aliviamientos.

#### Verificación a Cortante de las Losas de 4.00 m x 5.00 m de los Niveles +2.50 y +5.00:



La fuerza cortante que actúa sobre un metro de ancho de la zona crítica a cortante es:

$$V_u = 1.00 \text{ m} \times 1.625 \text{ m} \times 1475 \text{ Kg/m}^2$$

$$V_u = 2397 \text{ Kg}$$

El esfuerzo cortante último es:

$$v_u = \frac{2397 \text{ Kg}}{0.85(20 \text{ cm})(22 \text{ cm})}$$

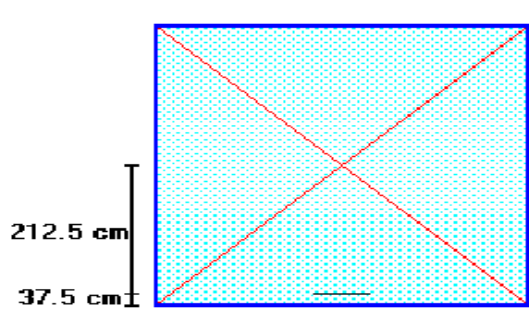
$$v_u = 6.41 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v_u < v_c \text{ (O.K.)}$$



El esfuerzo cortante último es inferior a la capacidad resistente del concreto por lo que no se requiere ningún cambio en las dimensiones de los alivianamientos.

#### Verificación a Cortante de las Losas de 5.00 m x 5.00 m del Nivel +7.50:



$$q_u = 1011 \text{ Kg/m}^2$$

La fuerza cortante para un metro de ancho es:

$$V_u = 1.00 \text{ m} \times 2.125 \text{ m} \times 1011 \text{ Kg/m}^2 \quad V_u = 2148 \text{ Kg}$$

$$\text{El esfuerzo cortante es: } v_u = \frac{2148 \text{ Kg}}{0.85(20 \text{ cm})(22 \text{ cm})}$$

$$v_u = 5.74 \text{ Kg/cm}^2 \quad v_u < v_c \text{ (O.K.)}$$

El esfuerzo cortante último es inferior a la capacidad resistente del concreto por lo que no se requiere ningún cambio en las dimensiones de los alivianamientos.

La losa de 4.00 m x 5.00 m del nivel +7.00 tampoco requiere ningún cambio.

#### Armadura de Temperatura y Retracción de Fraguado:

Para absorber los esfuerzos generados en el concreto de la loseta de compresión, por concepto de cambios de temperatura y retracción de fraguado, y permitir un control eficiente de la fisuración, se puede utilizar una malla electrosoldada con esfuerzo de fluencia  $F_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$ , requiriéndose la siguiente armadura mínima en las dos direcciones:

$$\rho_{\text{mín}} = 0.0020$$

$$A_{s_{\text{mín}}} = \rho_{\text{mín}} \cdot b \cdot d$$

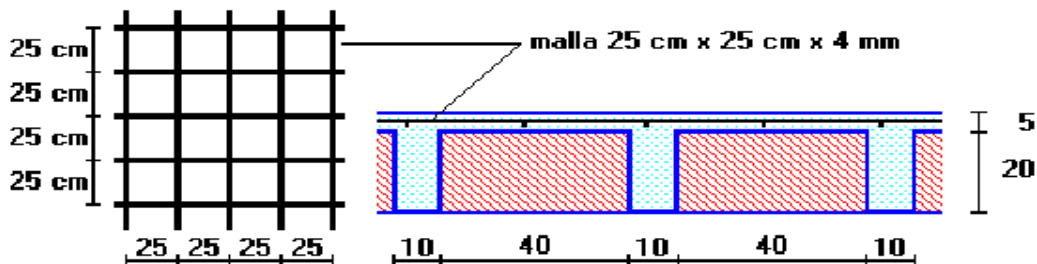
$$A_{s_{\text{mín}}} = (0.0020) (100 \text{ cm}) (2.5 \text{ cm})$$

$$A_{s_{\text{mín}}} = 0.50 \text{ cm}^2 \text{ por metro de ancho}$$

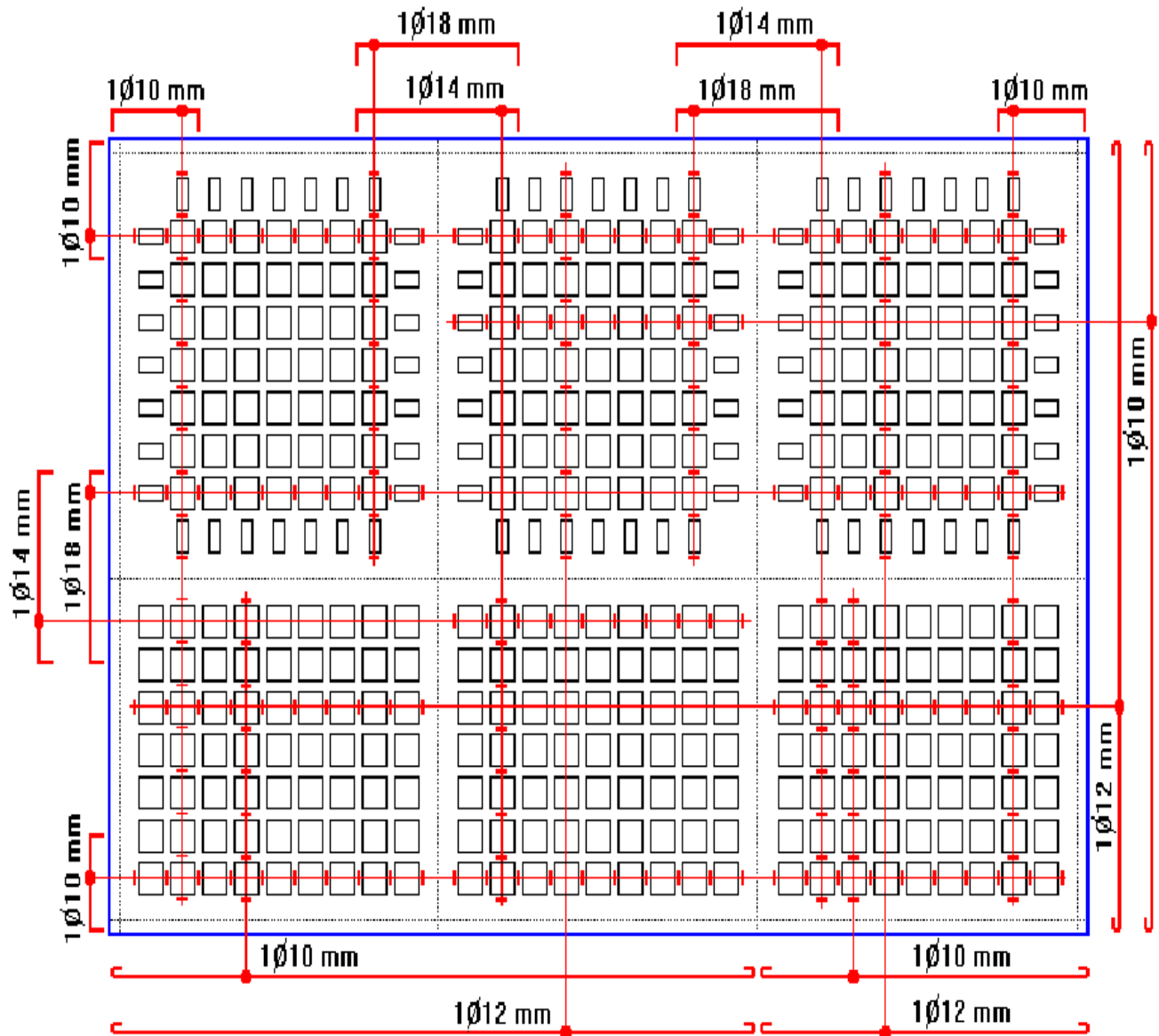
El máximo espaciamiento entre alambres de la malla electrosoldada es 5 veces el espesor de la loseta o 45 cm, el que sea menor:

$$e_{\text{máx}} = 5 (5 \text{ cm}) = 25 \text{ cm} \quad e_{\text{máx}} \leq 45 \text{ cm} \quad e_{\text{máx}} = 25 \text{ cm}$$

Se puede escoger una malla con alambres de 4 mm de diámetro espaciados cada 25 cm, que debe colocarse a media altura en la loseta de compresión.



**ARMADURA Y DISTRIBUCION DE ALIVIANAMIENTOS EN LOSAS NIVELES +2.50, +5.00**



**ARMADURA Y DISTRIBUCION DE ALIVIANAMIENTOS EN LOSA NIVEL +7.50**

